

**MODELO DE SIMULACIÓN PARA MEDIR EL NIVEL DE TRANSFORMACIÓN  
DIGITAL Y DEFINIR ACCIONES DE LA ESTRATEGIA COMPETITIVA EN LA  
INICIATIVA CLÚSTER METALMECÁNICO DEL ATLÁNTICO.**

**JOHANA PATRICIA CÓMBITA NIÑO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC**

**MAESTRIA EN INGENIERIA**

**BARRANQUILLA**

**2021**

**MODELO DE SIMULACIÓN PARA MEDIR EL NIVEL DE TRANSFORMACIÓN  
DIGITAL Y DEFINIR ACCIONES DE LA ESTRATEGIA COMPETITIVA EN LA  
INICIATIVA CLÚSTER METALMECÁNICO DEL ATLÁNTICO.**

**JOHANA PATRICIA CÓMBITA NIÑO**

**Trabajo de grado para optar el Título de Magíster en Ingeniería con énfasis en gestión de  
operaciones.**

**Tutores**

**Ing. Sindy Johana Martinez Marin, PhD(c).**

**Ing. Nataly Del Rosario Puello Pereira, MSc.**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC**

**MAESTRIA EN INGENIERIA**

**BARRANQUILLA**

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Barranquilla, octubre de 2020

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer a Dios por acompañarme de principio a fin en este proceso, a mi familia por apoyarme y ser un pilar fundamental en cada paso, especialmente a mi esposo Jose Villabón y hermano Harold Cómbita quienes de una u otra forma tuvieron que ver de forma directa en el proceso de alcanzar esta meta.

Quiero agradecer a la Universidad de la Costa por el apoyo en el desarrollo y ejecución del proyecto, especialmente a mis tutoras Sindy Martinez y Nataly Puello por su acompañamiento, guía y motivación en todo el proceso.

Ha sido un camino largo, pero gracias a sus aportes, dedicación, motivación y apoyo, hoy puedo decir que me siento orgullosa del trabajo realizado, donde los resultados han permitido mi crecimiento y desarrollo. Les agradezco y hago presente mi gran afecto y gratitud hacia ustedes.

## Resumen

El país ha venido implementando una serie de iniciativas encaminadas al desarrollo de los Clúster a través de las rutas competitivas, con el principal objetivo de mejorar la competitividad de las regiones. Resultado de este proceso de Iniciativas Clúster, el sector Metalmecánico del departamento del Atlántico dió inicio para el 2017 la estrategia competitiva “Industria 4.0”, convirtiéndose en el horizonte de trabajo y desarrollo de actividades para fortalecer el Clúster. Sin embargo, para la Iniciativa Clúster no ha sido un proceso fácil definir y priorizar acciones o una ruta clara a seguir; esto se debe a la novedad del tema y a la carencia de información de cómo trabajar e intervenir la transformación digital. Por tal razón, el objetivo de este trabajo de investigación consiste en diseñar un modelo de simulación con dinámica de sistemas que permita el estudio causal y sistémico de la Transformación Digital en este sector, para priorizar factores y definir acciones que respondan a la necesidad actual de la Iniciativa Clúster y contribuyan a la estrategia competitiva Industria 4.0. La metodología para el desarrollo de esta investigación constó de tres fases: 1. Diagnóstico, 2. Modelación, 3. Propuesta de plan de acción. La primera fase se basó en la caracterización del sistema y diagnóstico del estado actual, para lo cual fue necesario aplicar técnicas adicionales como Analytic Hierarchy Process (AHP) y Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), y un instrumento diagnóstico del nivel de Transformación Digital de Colombia Productiva para la toma de datos en la iniciativa. La Segunda fase consistió en desarrollar la hipótesis dinámica, diagrama causal del sistema y el modelo de simulación, partiendo de los resultados de caracterización de la primera fase. En la tercera fase, se analizaron los resultados y se definieron acciones para la Iniciativa Clúster, por lo

cual fue necesario realizar reuniones con empresarios expertos en el tema. Finalmente, los resultados muestran la importancia de trabajar en los tres factores claves de la Transformación digital, priorizando la Gestión de la digitalización, Implementación digital, y por último la Alineación estratégica, siendo este importante para el sustento a largo plazo de la estrategia.

Palabras clave: Transformación Digital, Dinámica de Sistemas, Industria 4.0, Clúster, Modelo de simulación.

### Abstract

The country has been implementing a series of initiatives aimed at developing Clusters through competitive routes, with the main objective of improving the competitiveness of the regions. As a result of this process of cluster initiatives, the Metalworking sector of the department of Atlántico began the competitive strategy "Industry 4.0" in 2017, becoming the horizon of work and development of activities to strengthen the cluster. However, for the cluster initiative it has not been an easy process to define and prioritize actions or a clear route to follow; This is due to the novelty of the subject and the lack of information on how to work and intervene in the digital transformation. For this reason, the objective of the research project is to design a simulation model with system dynamics that allows the causal and systematic study of Digital Transformation in this sector, to prioritize factors and define actions that respond to the current need of the cluster initiative and contribute to the Industry 4.0 competitive strategy. The study worked under a 3-phase methodology: 1. Diagnosis, 2. Modeling, 3. Proposal for an action plan. The first phase was based on the characterization of the system and diagnosis of the current state, for which it was necessary to apply additional techniques such as Analytic Hierarchy Process (AHP) and Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), and a diagnostic instrument of the Transformation level. Digital de Colombia Productiva for data collection in the initiative. The second phase consisted of developing the dynamic hypothesis, the causal diagram of the system and the simulation model, based on the characterization results of the first phase. In the third phase, the results were analyzed and actions were defined for the cluster initiative, for which it was necessary to hold meetings with businessmen who are experts on the subject. Finally, the results show the importance of working on the three key factors of Digital

Transformation, prioritizing Digitalization Management, Digital Implementation, and finally Strategic Alignment, this being important for the long-term sustainability of the strategy.

*Keywords:* Digital Transformation, System Dynamics, Industry 4.0, Cluster, Simulation model.



## Contenido

<b>1. Lista de tablas y figuras .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Introducción .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Planteamiento del problema .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Justificación.....</b>	<b>24</b>
<b>5. Objetivos.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1. Objetivo general .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>27</b>
<b>6. Marco teórico .....</b>	<b>28</b>
<b>6.1. Industria 4.0.....</b>	<b>29</b>
<b>6.2. Transformación Digital.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3. Clúster e Iniciativa Clúster.....</b>	<b>38</b>
<b>6.4. Dinámica de Sistemas.....</b>	<b>41</b>
<b>7. Estado del arte .....</b>	<b>44</b>
<b>8. Diseño metodológico .....</b>	<b>71</b>
<b>9. Diagnóstico de la Transformación Digital como base de la estrategia Industria 4.0 ....</b>	<b>75</b>
<b>9.1. Definición de factores y variables de Transformación Digital.....</b>	<b>76</b>

<b>9.2. Grado de importancia y relaciones de factores y variables de Transformación</b>	
<b>Digital. ....</b>	<b>84</b>
<b>9.2.1. Desarrollo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP). ....</b>	<b>84</b>
<b>9.2.2. Prueba de toma de decisiones y laboratorio de evaluación (DEMATEL). ....</b>	<b>89</b>
<b>9.3. Diagnóstico del nivel de Transformación Digital en la Iniciativa Clúster</b>	
<b>Metalmecánico. ....</b>	<b>95</b>
<b>10. Modelación de la Transformación Digital para análisis de escenarios ....</b>	<b>98</b>
<b>10.1. Formulación de hipótesis dinámica: Transformación Digital ....</b>	<b>98</b>
<b>10.1.1. Análisis y resultados. ....</b>	<b>100</b>
<b>10.2. Formulación del modelo de simulación: diagram de flujos y niveles ....</b>	<b>106</b>
<b>10.3. Validación del modelo de simulación ....</b>	<b>121</b>
<b>10.3.1. Pruebas de estructura. ....</b>	<b>122</b>
<b>10.3.2. Pruebas de comportamiento orientado a la estructura. ....</b>	<b>123</b>
<b>10.3.3. Pruebas de patron de comportamiento. ....</b>	<b>127</b>
<b>10.4. Resultados del modelo base y análisis de escenarios ....</b>	<b>130</b>
<b>10.4.1. Escenario base. ....</b>	<b>132</b>
<b>10.4.2. Escenario 1. ....</b>	<b>137</b>
<b>10.4.3. Escenario 2. ....</b>	<b>139</b>
<b>10.4.4. Escenario 3. ....</b>	<b>141</b>
<b>10.4.5. Escenario 4. ....</b>	<b>143</b>
<b>10.4.6. Escenario 5. ....</b>	<b>145</b>
<b>10.4.7. Escenario 6. ....</b>	<b>147</b>

<b>11.</b>	<b>Propuesta de plan de acción para la Transformación Digital .....</b>	<b>150</b>
11.1.	Identificación de las acciones más influyentes en la Transformación Digital .....	150
11.2.	Construcción de la propuesta del plan de acción .....	159
<b>12.</b>	<b>Trabajos futuros.....</b>	<b>193</b>
<b>13.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>194</b>
	<b>Referencias.....</b>	<b>198</b>

## Lista de tablas y figuras

### Tablas

Tabla 1. Pasos para aplicación de dinámica de sistemas.	42
Tabla 2. Relación de tecnologías con departamentos en una empresa.	48
Tabla 3. Modelos de referencia de Transformación digital e Industria 4.0.	49
Tabla 4. Modelos con dinámica de sistemas y Transformación digital o Industria 4.0.	57
Tabla 5. Fases y actividades de la metodología.	72
Tabla 6. Factores y variables de la transformación digital.	76
Tabla 7. Escala de AHP para evaluación.	85
Tabla 8. Índice de consistencia aleatoria de acuerdo con el tamaño de la matriz.	86
Tabla 9. Diagnóstico de factores y sub-factores de Transformación digital.	96
Tabla 10. Símbolos utilizados en el modelo.	107
Tabla 11. Constantes del nivel de Implementación digital.	109
Tabla 12. Constantes del nivel de Gestión de la digitalización.	111
Tabla 13. Constantes del nivel de Alineación estratégica.	113
Tabla 14. Constante del nivel de Transformación Digital.	115
Tabla 15. Valores iniciales del modelo para los niveles y factores.	132
Tabla 16. Resumen de resultados de escenarios	151
Tabla 17. Enfoque de acciones por factor.	158
Tabla 18. Relación de acciones, factor Implementación digital y subfactores.	160
Tabla 19. Relación de acciones, factor Gestión de la digitalización y subfactores.	165
Tabla 20. Relación de acciones, factor Alineación estratégica y subfactores.	169

Tabla 21. Propuesta de plan de acción.	173
----------------------------------------	-----

## **Figuras**

Figura 1. Evolución de la Industria	30
Figura 2. Tecnologías de Industria 4.0.	33
Figura 3. Modelo estratégico para la excelencia operacional enfocado a la industria 4.0.	45
Figura 4. Cuadro de indicadores para el nivel de Industria 4.0.	47
Figura 5. Pesos por criterios y subcriterios de transformación digital, para el modelo.	87
Figura 6. Clasificación de Digitalización de procesos con pesos.	87
Figura 7. Clasificación de Integración de procesos con pesos.	88
Figura 8. Clasificación de Digitalización de procesos de cara al cliente con pesos.	88
Figura 9. Clasificación de Enfoque en el desarrollo de proyectos con pesos.	88
Figura 10. Clasificación de Capital humano capacitado con pesos.	89
Figura 11. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de criterios.	91
Figura 12. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de subcriterios de la implementación digital.	92
Figura 13. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de subcriterios de la gestión de la digitalización.	93
Figura 14. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de subcriterios de Alineación estratégica.	94
Figura 15. Diagrama Causal del Nivel de Transformación Digital.	100
Figura 16. Ciclos R1, R2 R3 y B1, relación de factores directamente influyentes en el Nivel de Transformación Digital.	102

Figura 17. Ciclos R4, R5, R6 y R7, relación de sub-factores influyentes en la Alineación estratégica.	103
Figura 18. Ciclos R8, R9, R10, B2 y B3, relación de sub-factores influyentes en la Gestión de la digitalización.	105
Figura 19. Ciclos R11, R12, R13 y R14, relación de sub-factores influyentes en la Implementación digital.	106
Figura 20. Modelamiento Alineación estratégica.	117
Figura 21. Modelamiento Gestión de la digitalización.	119
Figura 22. Modelamiento Implementación digital.	120
Figura 23. Modelamiento de Transformación digital.	121
Figura 24. Prueba de Variables de entrada cero con valores de nivel en cero.	124
Figura 25. Prueba de Variables de entrada cero con estado actual en nivel.	125
Figura 26. Prueba de Disposición de inversión en cero.	126
Figura 27. Prueba de Enfoque estratégico en cero.	127
Figura 28. Sensibilidad de Transformación Digital con respecto a la Disposición a la inversión en TI.	128
Figura 29. Sensibilidad de Transformación Digital con respecto al Enfoque estratégico.	129
Figura 30. Resultado de simulación factores principales de Transformación digital.	134
Figura 31. Resultado de simulación con respecto al factor de Alineación estratégica.	135
Figura 32. Resultado de simulación con respecto al factor de Gestión de digitalización.	136
Figura 33. Resultado de simulación con respecto al factor de Implementación digital.	137
Figura 34. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1 Vs Escenario base.	138
Figura 35. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 1.	139

Figura 36. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 y Escenario base.	140
Figura 37. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 2.	141
Figura 38. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3 y Escenario base.	142
Figura 39. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 3.	143
Figura 40. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3, 4 y Escenario base.	144
Figura 41. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 4.	145
Figura 42. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3, 4, 5 y Escenario base.	146
Figura 43. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 5.	147
Figura 44. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3, 4, 5, 6 y Escenario base.	148
Figura 45. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 6.	149

## Introducción

La cuarta revolución industrial o Industria 4.0 consiste en un modelo industrial en donde prima el uso de las tecnologías para la autogestión y control de un sistema, el cual se enfoca en la gestión de la cadena de suministros y buscar una mejor experiencia del cliente (MinTIC, 2019). Parte importante del desarrollo de este concepto son la personalización masiva, los procesos flexibles, el diseño de productos modulares y la integración de la cadena de suministros (Casalet, 2018).

En este contexto, diferentes autores han establecido factores, objetivos y ventajas para la misma, Shafiq, Sanin, Szczerbicki, & Toro (2016) establecen como objetivos de la Industria 4.0: la entrega masiva de productos personalizados; la adaptación flexible y automática de la cadena productiva; la aplicación de sistemas de interacción Hombre-Máquina; y la optimización de la producción a partir del Internet of Things (IoT). Por su parte, Park (2017) dice que la Industria 4.0 estimula la interacción entre las comunidades de negocios, generando la dinámica de diversos actores, las cuales crean valor a partir de la cooperación y la competencia. Adicionalmente, la literatura destaca los procesos de producción, logística, fidelización de clientes y productos híbridos, como otros factores de incidencia para la Industria 4.0 (Schroeder, 2016).

Parte de este proceso o ruta hacia la Industria 4.0 se trata de una Transformación Digital, la cual consiste en una combinación de la tecnología con un cambio cultural en la organización hacia la disposición e implementación de nuevas tecnologías. Algunos de los beneficios de la Transformación Digital son mejorar la experiencia del cliente, crear una ventaja competitiva a



través de la creación de productos nuevos, mejorar la colaboración y eficiencia interna, permitir un mejor análisis de datos, entre otros. (de Freitas Filho, 2018)

Estos beneficios hicieron que la Iniciativa Clúster Metalmecánica del Atlántico definiera su ruta competitiva hacia la Industria 4.0, teniendo en cuenta que los Clústeres brindan un entorno que facilita el desarrollo de estas tecnologías (Götz & Jankowska, 2017). Sin embargo, definir una ruta clara de acción no ha sido una tarea fácil para la Iniciativa Clúster, partiendo principalmente de que se trata de un concepto en desarrollo donde se maneja mucha incertidumbre por parte de las empresas hacia el alcance, los beneficios y resultados (Wiesner et al., 2018) y es necesario una fuerte inversión tecnológica (Ynzunza Cortés et al. 2017).

Por tal razón, el objetivo principal de esta investigación es construir un modelo de simulación con Dinámica de sistemas que permita medir el nivel de Transformación Digital actual y simular su comportamiento ante acciones encaminadas en los factores de estudio de la estrategia competitiva “Industria 4.0”. Los resultados de esta implementación permitieron analizar los factores principales y su efecto en el nivel de Transformación digital en el tiempo. Esta herramienta se convierte en un insumo importante para las empresas de la iniciativa clúster Metalmecánico del Atlántico, apoyando el proceso decisivo de desarrollo y priorización del plan de acción que aborde la estrategia competitiva Industria 4.0.

La metodología de la investigación consta de tres fases: 1. Diagnóstico de la Transformación digital; 2. Modelación de la Transformación digital para análisis de escenarios; 3. Propuesta de Plan de acción para la Transformación digital en el marco de la estrategia competitiva Industria 4.0. En primera fase se hizo un diagnóstico de Transformación digital de las empresas productivas de la Iniciativa Clúster de estudio, identificar los factores, sub-factores, variables endógenas y exógenas, que alimentan el sistema de Transformación Digital. En la

segunda fase, se construyó el modelo de simulación con Dinámica de Sistemas, se modelaron los escenarios para la Transformación Digital y se analizaron los resultados en el tiempo. En la tercera fase, se usaron los resultados de la modelación de escenarios para definir las acciones de Transformación digital en el marco de una propuesta de plan de acción enfocada a la estrategia competitiva Industria 4.0.

Los resultados de esta implementación muestran que el nivel de Transformación Digital actual del Clúster fue de 1,9, considerando una escala de 0 a 5. Los resultados de la simulación en escenario BAU (Business as Usual) con horizonte de tiempo de 20 años, afirman el crecimiento de este nivel en 68,42%, alcanzando un valor máximo de 3,2 en la misma escala de referencia. Por su parte, partiendo de BAU se definieron y analizaron unos escenarios en busca de unos mejores resultados de la Transformación Digital en el Tiempo, donde se concluye que el escenario con mejor rendimiento es el número 6, con un nivel de Transformación Digital de 5 en un horizonte de tiempo de 16 años, es decir, un crecimiento del 163,16% en 4 años menos con respecto al BAU. Este escenario incluye cambios en el sistema enfocados en fortalecer los tres factores principales de la Transformación Digital, que son, la Alineación Estratégica, la Gestión de la Digitalización y la Implementación Digital. Finalmente, el análisis de los resultados del modelo en el escenario 6 permitió formular acciones en el marco de la Transformación digital hacia la estrategia competitiva de Industria 4.0 de la Iniciativa Clúster, partiendo del siguiente orden de importancia de los factores: Gestión de la Digitalización, Implementación Digital, Alineación estratégica.

### Planteamiento del problema

Bajo el objetivo de mejorar la competitividad en las regiones, Colombia ha venido implementando una serie de iniciativas encaminadas al desarrollo de los Clúster. Estas iniciativas se fueron dinamizando a partir de la inclusión del pilar “Desarrollo de sectores de clase mundial” en el marco de la Política Nacional de Competitividad y Productividad de la Comisión Nacional de Competitividad (CONPES 3527, 2008). A partir de este momento, se ha estado trabajando en el desarrollo de rutas competitivas para la incursión de estas iniciativas, las cuales han sido lideradas por entidades como iNNpulsa, Cámaras de Comercio locales, Universidades, y Gobernación (Red Cluster Colombia, 2013). Estas rutas competitivas, buscan estimular el desarrollo de las regiones a largo plazo, a través de la redefinición de una estrategia competitiva para las empresas de un Clúster, donde la estrategia no es más que un “conjunto de escogencias que posicionan a una firma en su industria” (Garavito et al., 2018).

Puntualmente, el departamento del Atlántico es una región líder de estos procesos y actualmente desarrolla las rutas competitivas de los sectores: metalmecánica, economía naranja, turismo y lácteos. La ruta competitiva metalmecánica se considera una oportunidad para abordar mercados internacionales, por su alta dependencia con el desarrollo de otras actividades económicas a nivel mundial y al posicionamiento industrial, como el sector de la construcción y automotriz. En Colombia, la Ruta Competitiva del Cluster Metalmecánico del Atlántico (2017), identificó que el sector ha experimentado un crecimiento promedio de 13% entre el periodo 2007-2016, con producción asociada de 1.3 millones de toneladas de aceros largos y 1 millones de toneladas por año de producción con chatarra. De acuerdo con este comportamiento, esta industria representa el 7% del PIB industrial y se estima capacidad de expansión de 37%.

La ruta competitiva Metalmecánica del Atlántico, en miras a fortalecer su sector industrial a través de la Iniciativa Clúster, determinó trabajar bajo una metodología que se resume en tres fases: Diagnóstico, Identificación y Diseño de estrategia. La primera fase de diagnóstico consistió en identificar las empresas, instituciones y gremios del sector, a partir de entrevistas y reuniones que permitirán la caracterización del nicho productivo. La segunda fase de identificación se basó en reconocer los compradores sofisticados y sus estrategias competitivas, basado en un viaje de referencia realizado a España, donde hubo un trabajo en conjunto con el Clúster Metalindustry4. La tercera fase se basó en el diseño la estrategia a implementar para dinamizar el Clúster. (Ruta Competitiva del Cluster Metalmecánico del Atlántico, 2017).

Como resultado de este proceso, se obtuvo la estrategia “Industria 4.0”, donde el término se refiere a la era de sistemas de fabricación inteligentes con capacidad de control de procesos físicos, toma de decisiones en tiempo real y cooperar con el ser humano mediante la interacción con sensores y máquinas (Wang, Li, et al., 2016). Este término no solo hace referencia al uso de las tecnologías en los procesos productivos, sino que también incide en la transformación de las cadenas de valor y los modelos de negocio, a través de tecnologías de sistemas de producción integrados (Zhong et al., 2017). La transformación digital es ese primer momento de la Industria 4.0, donde se incorpora las tecnologías digitales en los departamentos y áreas funcionales de la organización, yendo más allá del uso de redes sociales, página web o el comercio electrónico. Luego de esto, la aplicación de tecnologías que permiten la conectividad y automatización de procesos industriales y organizacionales, son lo que genera el desarrollo de Industria 4.0. (Bedoya Olarte, 2019)

Para la Iniciativa Clúster en estudio, ha sido un desafío definir acciones encaminadas al desarrollo de la estratégica competitiva Industria 4.0, debido a que se trata de una transformación digital ambiciosa para el sector. Se ha evidenciado que las empresas a nivel general tienen una carencia de conocimiento o idea clara del alcance de este término y consideran complejo la aplicación de este tipo de estrategias o modelo de industria, ocasionando pensamientos de incertidumbre hacia los beneficios y los resultados (Wiesner et al., 2018). Además, presenta como principal desafío la fuerte inversión tecnológica que requiere (Ynzunza Cortés et al. 2017), haciendo más difícil el proceso de definir acciones para las empresas sin tener claro su impacto a largo plazo. Su alto componente tecnológico hace que se considere como una estrategia a largo plazo, que las empresas deberán asumirlo de forma acelerada para seguir siendo competitivas (Sjøbakk, 2018); por lo cual es importante tener claro una ruta o acciones a desarrollar para ser pertinentes en las decisiones estratégicas y de inversión.

Adicionalmente, se han identificado barreras de Transformación digital relacionados con la relación Coste/beneficio, el personal no cualificado, la ausencia de un partner tecnológico, el riesgo a la seguridad y la cultura/resistencia al cambio (Pérez González et al., 2018). También se identifican factores que limitan esta transformación por su constante cambio o evolución, que son la falta de liderazgo, los lugares físicos y virtuales de trabajo, las personas (talento y cultura), el cliente y los mercados (de Freitas Filho, 2018). Todo esto son factores que deben estudiarse para definir acciones estratégicas donde se apliquen tecnologías pertinentes para el desarrollo actual y progresivo del sector, en materia de transformación digital e Industria 4.0.

Este concepto y modelo de industria se viene afianzando, pero no existe una idea clara que ayuda a las empresas a cómo abordar la Industria 4.0, a través de una estrategia de transformación a largo plazo (MinTIC, 2019), por lo cual Pérez Lara, Saucedo Martínez, Salais

Fierro, & Marmolejo Saucedo (2017) fundamentan la necesidad de un punto de partida para la aplicación de Industria 4.0 en las empresas.

Con esto tenemos una brecha entre la parte conceptual y la aplicación de acciones encaminadas a estos objetivos de Transformación Digital y por consiguiente Industria 4.0, no solo por el desarrollo tecnológico que implica, sino por los esfuerzos que deben hacer las empresas para su adaptación, como la capacidad de financiación tecnológica y capacitación del talento humano en el uso de las tecnologías. Adicionalmente, la Industria 4.0 es un concepto en desarrollo que genera incertidumbre en las empresas con respecto a su alcance, los resultados y beneficios (Wiesner et al., 2018). De aquí nace la importancia de identificar claramente el comportamiento de la Transformación Digital y los factores que la componen para tener una visión de las acciones necesarias a implementar para encaminar las empresas, un sector o Clúster hacia esta dinámica de Industria 4.0. Siendo este último un entorno que facilita el desarrollo de la Transformación digital hacia la Industria 4.0, debido a sus características favorables de confianza y cooperación, los mecanismos de conocimiento, y la economía de aglomeración (Götz & Jankowska, 2017).

Teniendo como estrategia competitiva la Industria 4.0 en la Iniciativa Clúster Metalmeccanico del Atlántico, se evidencia como oportunidad de investigación, el desarrollo de un modelo de simulación que permita el estudio del comportamiento del Sistema de Transformación Digital para definir acciones que respondan a las necesidades actuales del sector en estudio en torno a la estrategia competitiva Industria 4.0; siendo las acciones un conjunto de estrategias que ayuden a potencializar el nivel de transformación digital en el tiempo.

En consecuencia, se genera la siguiente pregunta problema: ¿Qué acciones dentro de la estrategia de Industria 4?0 potencializan el nivel de Transformación Digital en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico?

### **Justificación**

La Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico desde el 2017 inició su proceso de Ruta competitiva liderado por la Universidad de la Costa, la cual se desarrolló en tres fases: Diagnóstico, Identificación y Diseño de estrategia. La primera fase buscó identificar brechas del nicho productivo; la segunda fase buscó determinar compradores sofisticados y observar como se trabaja en un contexto internacional; y la tercera fase buscó diseñar estrategias para la Iniciativa Clúster. (Ruta Competitiva del Cluster Metalmecánico del Atlántico, 2017).

Como resultado de esta metodología se definió la estrategia competitiva Industria 4.0, la cual busca vincular soluciones digitales en los procesos productivos, comerciales, y dentro de la cadena de valor, generando beneficios alineados a la experiencia del cliente, una ventaja competitiva por nuevos productos, mejor colaboración, mejor eficiencia interna, mejora en la toma de decisiones basado en el análisis de datos, entre otros (de Freitas Filho, 2018). Para la consecución de esta estrategia competitiva, es importante que la Iniciativa Clúster defina una ruta que acompañe a las empresas en este proceso de transformación digital, lo cual no ha sido una tarea sencilla por realizar teniendo en cuenta la novedad del concepto y lo rápido que avanzan las tecnologías que lo conforman. Adicionalmente, las empresas han evidenciado tener incertidumbre frente al concepto, beneficios y alcance de resultados (Wiesner et al., 2018), lo que hace mas difícil definir una ruta o plan de trabajo.

Por esta razón, el presente trabajo busca estudiar factores y variables de la transformación digital para definir un modelo de simulación con Dinámica de Sistemas que permita modelar en el tiempo acciones estratégicas en busca de unos mejores niveles de transformación digital,



partiendo de un diagnóstico del estado actual de la Iniciativa Clúster. Estos resultados permitirán realizar un análisis para el enfoque de factores y variables mas importantes a intervenir en la definición de una ruta o plan de acción digital hacia la Industria 4.0.

Un estudio de revisión realizado por de Paula Ferreira et al., (2020), establece que las tecnologías de simulación se han caracterizado en la literatura por ser una opción bastante usada para evaluar factores en el marco de la Industria 4.0, como el riesgo, costo, barreras de implementación, impacto en el desempeño operativo, e incluso hoja de ruta. Esto se debe a que dichas tecnologías permiten un mejor estudio de los principios de diseño de la Industria 4.0. A este grupo de tecnologías hace parte la Dinámica de Sistemas, por lo cual se convierte en un aspecto importante para el desarrollo de la investigación, debido a que permitirá realizar un análisis del comportamiento de la Transformación digital en el tiempo, teniendo en cuenta escenarios donde se evalúen diferentes acciones enfocadas en fortalecer los factores que conforman la Transformación digital. De esta manera, se podrá analizar la relevancia y pertinencia de las acciones para una adecuada priorización. Estos resultados permitirán tener una propuesta de plan de acción para la Iniciativa Clúster, enfocado en fortalecer la transformación digital de las empresas que lo conforman. Con esto, las empresas tendrán un punto de partida encaminado a sus necesidades, lo cual es importante en el proceso de implementación digital (Pérez Lara et al., 2017).

Por otra parte, es importante destacar que el proyecto se encuentra alineado a las iniciativas de fortalecer la Transformación digital del país. El Ministerio TIC, ha venido impulsando una serie de iniciativas a través de una estructura interna de trabajo como lo es el Viceministerio de Transformación Digital y la Dirección de Transformación Digital (MinTIC, 2020a); generando un Plan Estratégico de Tecnologías de Información (PETI) 2019 – 2023, con

el propósito de organizar y centralizar las acciones encaminadas a esta nueva misión, donde uno de los ejes temáticos es la Transformación Digital Sectorial y Territorial con estrategias como la Transformación Digital Industrial y la eliminación de barreras para el desarrollo de negocios digitales (MinTIC, 2020b). Todo esto en el marco del Pacto por la Transformación Digital de Colombia del Departamento Nacional Planeación (Durán Pabón, 2019). Con esto tenemos que la transformación digital para el país se trata de una prioridad y es una misión que viene desarrollando, por lo cual el proyecto en mención es una oportunidad de investigación que contribuye a este proceso.

Finalmente, a nivel científico no hay una clara definición de Industria 4.0 o Transformación digital, dando una imagen borrosa de esta línea de investigación en la comunidad investigativa (Douaioui et al., 2018); por lo cual el presente trabajo da paso a futuras investigaciones encaminadas a comprender características precisas del concepto en diferentes sectores, para poder poner en práctica su desarrollo. Además, a través del modelo de simulación se definen factores, variables y interrelaciones que conforman la Transformación digital, siendo un aporte en la literatura. Este estudio permitirá tener una panorámica del comportamiento y los componentes de la Transformación Digital, de tal manera que sea un referente para otros sectores en la incursión de iniciativa de digitalización.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un modelo de simulación con Dinámica de Sistemas que permita medir el nivel de Transformación Digital para priorizar factores y acciones de la estrategia competitiva en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del departamento del Atlántico.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar un diagnóstico de Transformación Digital como base de la estrategia competitiva en las empresas de la Iniciativa Clúster, a través de la implementación de una herramienta especializada.
- Construir un modelo de simulación con Dinámica de Sistemas que permita medir el nivel de Transformación Digital actual para la evaluación de acciones en la Iniciativa Clúster.
- Definir una propuesta de plan de acción enfocado a la Transformación Digital para el desarrollo de la estrategia competitiva de la Iniciativa Clúster a partir de los resultados obtenidos.

### Marco teórico

La siguiente investigación se encuentra enmarcada en cuatro ejes temáticos que sustentan la importancia del tema de estudio, estos son: Industria 4.0, Transformación digital, Clúster e Iniciativa Clúster y Dinámica de Sistemas. El primer eje temático, de acuerdo con Lee, Bagheri, & Kao (2015), consiste en una iniciativa estratégica que tiene como objetivo crear fabricas inteligentes, donde las tecnologías son actualizadas y transformadas en sistemas complejos. El segundo eje temático, se basa en el punto de partida o fomento de las tecnologías digitales en una organización, que permita incorporar a futuro herramientas para el desarrollo de la Industria 4.0 (Bedoya Olarte, 2019). En cuanto al tercer eje temático, Porter (1998) en su escrito "Clúster y la nueva economía de la competencia" define el concepto de Clúster como "la concentración geográfica de las empresas interconectadas e instituciones en un lugar particular". Finalmente, el cuarto eje temático consiste en una metodología que se encarga de evaluar el comportamiento de un sistema, basado en las relaciones de causa y efecto de las variables que actúan sobre él (Omogbai & Salonitis, 2017).

A continuación, se profundizará cada uno de estos temas para contextualizar el soporte teórico del presente trabajo.

### **Industria 4.0**

El término de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 se conoció en el 2011 en la feria Industrial de Hannover, Alemania, refiriéndose al concepto como parte de una estrategia tecnológica del país en miras al 2020. El objetivo principal de esta estrategia consistió en descentralizar el proceso de producción utilizando sistemas de Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) (Park, 2017), donde los sistemas Ciber-Físicos (Cyber Physical Systems) juegan un papel importante (Hwang 2016).

Para llegar al concepto de Industria 4.0, el mundo experimentó 3 revoluciones Industriales previas (Figura 1). La primera se dio en la segunda mitad del siglo XVIII, donde hubo una transición de la producción manual a la mecanizada a partir del desarrollo de la máquina de vapor que proporcionaba una energía a base de carbón. Por su parte, la segunda revolución Industrial inició a finales del siglo XIX, introduciendo la producción en masa y líneas de montaje dada por la inclusión de la energía eléctrica, principalmente en industrias como el acero. La tercera revolución se dio en el siglo XX a partir de la aparición de la energía nuclear, permitiendo desarrollar un mejor potencial de energía para la automatización de los procesos utilizando electrónica y tecnología de la información (computador). Finalmente, la cuarta revolución industrial comienza a tener protagonismo a mediados del siglo XX, cuando la revolución digital pone en marcha iniciativas que involucran el Internet y los sistemas Ciber-Físicos (la electrónica inteligente, la conectividad, monitorización de entornos, etc.), para la fabricación avanzada. (Douaioui et al., 2018; Hwang, 2016).

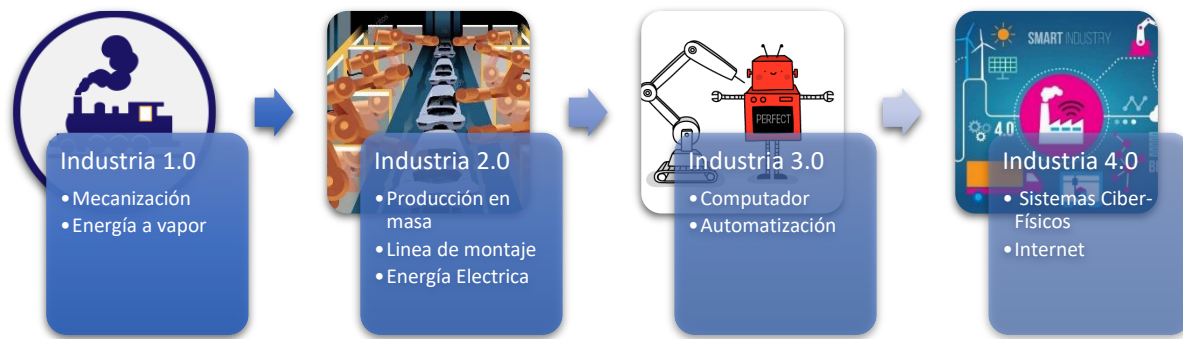


Figura 1. Evolución de la Industria

Fuente: Elaboración propia.

Otros autores definen la Industria 4.0 como la era en que los sistemas de fabricación son capaces de controlar procesos físicos, tomando decisiones inteligentes a través de comunicación en tiempo real y la cooperación con el ser humano, mediante la interacción con sensores y máquinas (Wang, Li, et al., 2016). Según Douaioui et al., (2018) esta se basa en la comunicación en tiempo real, de tal manera que el sistema coopere entre sí, además de tener una comunicación con el humano para la descentralización de la toma de decisiones. Por esta razón, Zhong et al. (2017) consideran que la Industria 4.0 incide en la transformación de las cadenas de valor y los modelos de negocio.

A este concepto se le reconocen diferentes nombres, los cuales varían principalmente por las áreas geográficas. Por tanto, algunos sinónimos del concepto de industria 4.0 son: Fabrica Inteligente, Industria Inteligente, Fabrica del Futuro, Industria del Futuro, Industria Digital, entre otros. Es importante destacar, que la Industria 4.0 no solo se centra en los procesos de producción, sino también en los productos y servicios. (Douaioui et al., 2018)

Por tanto, es evidente que no hay una única definición del concepto, pero si es claro que se trata de la inclusión de las TIC en las empresas de tal manera que se genere conectividad y automatización de los procesos y la industria. Siguiendo este contexto, diferentes autores han establecido factores, objetivos y ventajas para la misma. Es el caso de Shafiq, Sanin, Szczerbicki, & Toro (2016) quienes establecen como objetivos de la Industria 4.0: la entrega masiva de productos personalizados; la adaptación flexible y automática de la cadena productiva; la aplicación de sistemas de interacción Hombre-Máquina; la optimización de la producción a partir del Internet of Things (IoT). Por su parte, Park, (2017) dice que la Industria 4.0 estimula la interacción entre las comunidades de negocios, generando comunidades dinámicas de diversos actores, las cuales crean valor a partir de la cooperación y la competencia.

En este sentido, se destacan 4 visiones futuras de fabricación (Qin et al., 2016):

- **Fábrica.** Teniendo en cuenta la dinámica de Industria 4.0, se espera que se conviertan en fábricas conscientes e inteligentes, capaces de predecir y mantener las máquinas, de tal manera que se pueda autocontrolar el proceso de producción. (Lucke et al., 2008)
- **Negocio.** La comunicación entre varias empresas (fabricas, proveedores, distribuidores) y áreas funcionales (logística, recursos, clientes), es una característica inherente a la Industria 4.0, la cual permitirá optimizar las configuraciones en tiempo real en función a cada una de las secciones asociadas a la red, garantizando un máximo beneficio y respuestas en tiempos real para todas las empresas y el sector. (Kagermann et al., 2013)
- **Productos.** Se visiona un nuevo producto inteligente, con sensores y componentes identificables, capaces de transmitir información de los clientes a los fabricantes, como el estado del producto, de tal manera que se pueda optimizar en el diseño, se puedan establecer predicciones y mantenimiento. (Abramovici & Stark, 2013)

- **Cliente.** La Industria 4.0 incursionará nuevos métodos de compra, permitiendo una mayor personalización de este en tiempo real. Además, la capacidad de recibir consejos de acuerdo con el comportamiento del cliente. (Schlechtendahl et al., 2015)

Para que sea posible el desarrollo de estas visiones o enfoques futuros, y generar ventajas y beneficios en la industria, la cuarta revolución industrial engloba una serie de herramientas.

Zhong et al., (2017) define las siguientes tecnologías que interactúan en esta dinámica:

- **Internet de la Cosas (IoT):** redes que interconectan varios objetos que se encajan con sensores u otros dispositivos electrónicos, con el objetivo de intercambiar datos.
- **Sistemas Cyber Físicos (CPS):** sistema por el cual los objetos físicos y el software están entrelazados, lo que permite el intercambio de información.
- **Computación en la nube:** prestación de servicios a través de los recursos visualizados en internet.
- **Análisis de datos grandes:** Análisis de datos que fluyen a través de diferentes canales, como sensores, audio, video, redes, archivos, la web, entre otros; donde el internet de las cosas ha simplificado la recogida de los datos.
- **Tecnología de información y comunicaciones:** técnicas de información y de procesamiento de señales, para la transferencia de información a través de diversos medios.

Por su parte, Rüßmann et al., (2015) define nueve tecnologías que están transformando la producción industrial, identificándolas como la base de la Industria 4.0 (Figura 2).



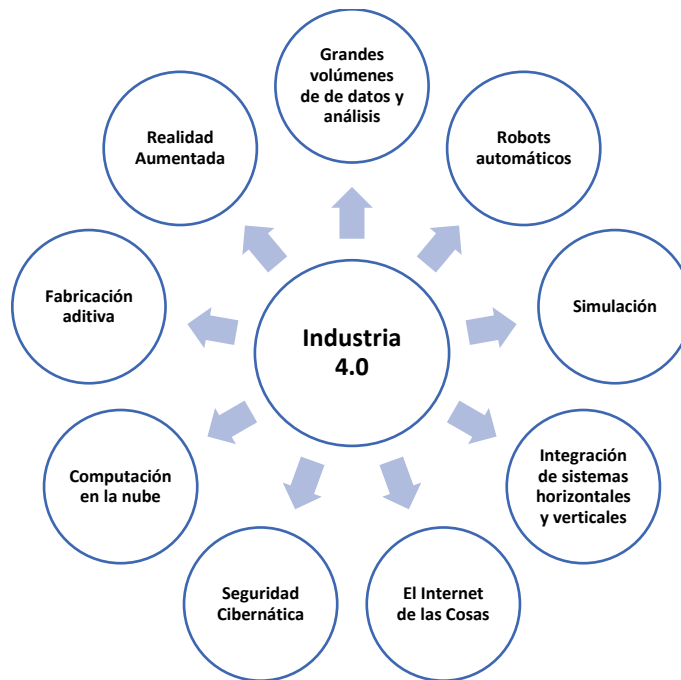


Figura 2. Tecnologías de Industria 4.0.

Fuente: Elaboración propia basado en (Rüßmann et al., 2015).

Diferentes autores han argumentado la importancia e incidencia de estas tecnologías para la estrategia de Industria 4.0, entendiendo bajo los siguientes conceptos (MinTIC, 2019):

- **Big data o análisis de grandes volúmenes de datos:** Consiste en técnicas de procesamiento y análisis de datos, caracterizándose por manejar el volumen, la variedad y velocidad, para dar como resultado un análisis que respalde los procesos de toma de decisiones.
- **Robots autónomos:** Se basa en una solución colaborativa de una tecnología que puede trabajar con los humanos de forma eficiente, garantizando una mayor productividad.
- **Simulación:** conjunto de herramientas que permiten modelar desde el diseño de un producto hasta la gestión operativa, dando como resultado una representación virtual de productos y procesos para identificar problemas o plantear soluciones.

- **Integración horizontal y vertical:** a nivel horizontal se fundamenta en una red de valor basado en el flujo de información y bienes, que se puede dar entre empresas, proveedores y clientes. A nivel vertical se trata de la integración de los niveles jerárquicos de una empresa, basado en un flujo de información.
- **Internet de las cosas:** Se basa en la comunicación de todos los dispositivos en red, permitiendo una interoperabilidad.
- **Ciberseguridad o seguridad cibernética:** estrategias y herramientas que buscan la seguridad de la gran cantidad de datos de un sistema.
- **Computación en la nube:** Infraestructura tecnológica que permite un acceso a la información y servicios de forma ubicua.
- **Fabricación aditiva:** Conjunto de tecnologías que permiten producir elementos personalizados agregando material, generando menos desechos, un mayor tiempo de respuesta, mayor flexibilidad en la producción, entre otras ventajas.
- **Realidad aumentada:** Entorno virtual que recrea un espacio de trabajo para la interacción con dispositivos.

Adicional a estas herramientas Basco et al., (2018) destaca un décimo pilar tecnológico, “la Inteligencia Artificial”, la cual se basa en el desarrollo de algoritmos para el procesamiento de datos a una mayor velocidad, generando un aprendizaje del sistema con respecto al análisis de la información. Consiste en un perfeccionamiento del algoritmo a partir de la información y experiencias que se recopilan, siendo capaz de tomar decisiones. (Basco et al., 2018)

Por consiguiente, es evidente que la Industria 4.0 como estrategia competitiva es un objetivo ambicioso y complejo de alcanzar si no hay una adecuada planeación y administración de las acciones a emprender. Los referentes muestran un alto grado de implementación

tecnológica para alcanzar objetivos que benefician y articulan las empresas de un sector con el modelo de Industria 4.0, por lo cual no se trata de una estrategia a corto ni mediano plazo; se trata de un modelo que englobe a largo plazo esta estrategia en las empresas, lo cual requiere incorporar unos primeros pasos de Transformación digital, para así visionar una Industria 4.0. A continuación se detalla el concepto y accionar de la Transformación Digital como base de esta estrategia competitiva.

### **Transformación Digital**

El estudio realizado por Culot et al., (2020) muestra una evidente falta de una clara conceptualización o definición de la Industria 4.0, donde la literatura y referentes no académicos engloban una serie de sinónimos que se la atribuyen. Entre estos sinónimos esta la Transformación digital, y otros como Internet Industrial, Fabricación industrial, cuarta revolución, fabricación inteligente, entre otros.

Cuando se trata del concepto de Transformación Digital en el estudio relacionado, los autores Roedder et al., (2016) postulan que abarca más que todo las estrategias y la innovación en el modelo de negocio; donde el primer autor describe este concepto como el impacto de las tecnologías en los modelos de negocio, tratándose principalmente de tecnologías emergentes. Finalmente, en el estudio de Culot et al., (2020) se concluye que los conceptos alineados a la Industria 4.0 no tienen una diferencia importante, básicamente se atribuye es al alcance en tecnología, en busca de un mismo objetivo que es la flexibilidad, productividad y crecimiento económico. Adicionalmente estos conceptos se relacionan mucho con la redacción o énfasis de estudio, especialmente en las respaldadas por el gobierno.

Otros autores como Sanz Garrido, (2019); Savastano et al., (2019) respaldan la similitud en los conceptos, siendo sinónimos utilizados en la descripción del tema de Industria 4.0, pero su diferencia se basa en el origen geográfico del concepto. De acuerdo con la revisión bibliográfica de Savastano et al., (2019), la transformación digital consiste en la creación de oportunidades partiendo de herramientas tecnológicas, datos y la mentalidad.

Por otro lado, se considera la Transformación Digital como un proceso de cambios tecnológicos y organizativos que conducen a la Industria 4.0, haciendo énfasis en la adaptación de las organizaciones a las nuevas implementaciones (Sánchez & Hartlieb, 2020). Sumado esto, Bedoya Olarte, (2019) argumenta que la transformación digital es la aplicación de tecnologías dentro de una organización, y cuando esta transformación llega a todas las unidades es posible hablar de Industria 4.0.

Ahora bien, los resultados de estos cambios son los que deben motivar a las empresas a su implementación, como la ampliación de las capacidades en los procesos y productos, mejorando la eficiencia en las operaciones, mayor valor al cliente, gestionar los riesgos, y la posibilidad a nuevas oportunidades de ingresos (Rojas Alarcón, 2018). Sumado a esto, se destacan aspectos como el generar una ventaja competitiva, nuevos modelos comerciales, mejora la experiencia del cliente, motiva la innovación dentro de la organización y mejorar la toma de decisiones (Schwertner, 2017).

Pese a estas oportunidades y beneficios, existen una serie de barreras o aspectos que no permiten un desarrollo completo de la Transformación Digital, un estudio realizado por Pérez González et al., (2018) destaca los siguientes criterios:

1. Para muchos empresarios este tema aun no se considera prioridad o necesario.
2. Falta de conocimiento de los costes de inversión tecnológica y el beneficio que

representan.

3. Las empresas son conscientes de la falta de personal capacitado para estas tecnologías.
4. Ausencia de un partner tecnológico que los guíe en el proceso, donde podrían ser las universidades y el estado.
5. Implicación de problemas de seguridad.
6. Incertidumbre en la legislación o normativa.
7. Resistencia al cambio y falta de una cultura digital en las empresas.

Sumado a esto, el autor Cano, (2018) argumenta que uno de los principales barreras es la inseguridad de la información frente a los cambios de la transformación digital, donde el reto es garantizar una seguridad y control de los activos de información. Adicionalmente, dos problemas o barreras que se destacan en la revisión hecha por Savastano et al., (2019) son el avance tecnológico, la participación de las personas y la organización, es decir, la disposición a asumir este cambio.

En un estudio realizado por (Casado González, 2017) existen tres razones principales por lo cual los cambios que genera la transformación digital fracasan y son:

1. La falta de compromiso de la dirección en el proceso.
2. La resistencia de las personas.
3. La cultura organizacional.

Por tal razón, se evidencia en la revisión bibliográfica la importancia de la estrategia antes de implementar tecnologías, debido a que se trata de un cambio o una transición que debe adoptar la organización y sus empleados, minimizando así la resistencia al cambio y el costo, y maximizando la efectividad y el esfuerzo o disposición al cambio. Incluso se considera que se llega a una transformación digital exitosa cuando el cambio organizacional, la tecnología y la

integración de datos se trabajan por igual. Ahora bien, no se trata solo de la estrategia, sino de la cultura organizacional y el liderazgo para llevarla. (Schwertner, 2017)

Finalmente, con todo esto tenemos que la Transformación digital permite hacer una preparación para la estrategia competitiva Industria 4.0, articulando las acciones digitales y tecnologías en una implementación hacia mejorar las capacidades de las empresas en sus procesos internos, de cara al cliente y hacia su cadena de valor. Sin embargo, es importante reconocer que no todas las empresas están preparadas para asumir esta dinámica de manera independiente, por lo cual resulta ventajoso y conveniente que las acciones de Transformación digital en mira a la Industria 4.0 se lleven a cabo desde una perspectiva de Clúster. A continuación, se detalla un poco acerca de los inicios del concepto, su definición, la importancia que representa para las empresas y la diferencia con una Iniciativa Clú

### **Clúster e Iniciativa Clúster**

El concepto de Clúster fue estudiado en primera instancia por el señor Marshall, con el término de “Distrito Industrial” (1919, 1920), seguidamente estudiado por Giacomo Bacattini en la década de 1980, pero no fue hasta 1990 cuando el profesor Michael Porter estableció el concepto de Clúster (Belussi, 2015; Garavito et al., 2018). A partir de esta primera definición, el mundo ha venido desarrollando e investigando este término desde un ámbito económico y competitivo, evaluando su influencia desde un enfoque internacional, nacional, regional y empresarial, en correspondencia con los sectores productivos que lo conforman. (Belussi, 2015; Porter, 1998).

Porter en su escrito "Clúster y la nueva economía de la competencia" define el concepto como "la concentración geográfica de las empresas interconectadas e instituciones en un lugar

particular", donde existe una variedad de industrias relacionadas con el sector y entidades complementarias como proveedores de componentes, maquinaria, servicios, e infraestructura especializada; además de industrias laterales que prestan servicios tecnológicos o de interés común. Adicionalmente, Porter indica que muchos de estos grupos incluyen entes gubernamentales, organismos de establecimiento de normas, instituciones educativas, centros de formación profesional, centros de investigación y asociaciones de comercio. (Porter, 1998)

Por su parte, Vila Alonso, Ferro Soto, & Rodríguez Domínguez (2000) explican el concepto de Clúster a partir de tres dimensiones:

- **Dimensión territorial:** las empresas se localizan en una región geográfica.
- **Dimensión Sectorial:** las empresas están relacionadas a una industria específica que les genera valor.
- **Dimensión cooperativa:** las empresas tienen relaciones de cooperación entre ellas.

Adicionalmente, Martin & Sunley (2011) han definido los Clústeres con un enfoque basado en el modelo de ciclo de vida, abarcando temas como la evolución y limitantes, en los cuales destacan que el modelo de Clúster es un proceso adaptativo donde confluyen diversos resultados a partir de las interacciones del sistema.

Sin embargo, la importancia del Clúster radica en la ventaja competitiva y beneficios que representa para las empresas. Para Luengo Valderrey et al. (2012) los Clúster influyen sobre la competitividad de las empresas de un sector, ayudando a incrementar la productividad y eficiencia de los actores que lo integran, estimulando la comercialización, la creación de empresas y la capacidad para innovar. En este mismo sentido, Otero, Salim, & Carbajal (2006) indican que el Clúster contribuye de tres formas: incrementando la eficiencia y la productividad de las empresas, mejorando la capacidad de innovación empresarial a partir de las acciones

colectivas entre los miembros del Clúster y estimulando la creación de nuevas empresas.

Además, los Clústeres ayudan a las organizaciones a tomar decisiones, a fomentar relaciones sociales productivas y trabajar con otros en pro a fortalecerse mutuamente, como se cita en (Lin et al., 2006).

Ahora bien, para alcanzar estos beneficios y ventajas que ofrecen los Clústeres de una mejor manera, es necesario una Iniciativa Clúster, la cual consiste en “un instrumento de intervención que busca la mejora de esta realidad económica de un sector”; estas muchas veces son coordinadas y gestionadas por entidades jurídicas independientes (Garavito et al., 2018). Para Ketels, Lindqvist, & Sölvell (2003) son esfuerzos organizados para incrementar la competitividad de las empresas de un Clúster, donde participan las empresas, el gobierno y la academia. En este sentido, los Clústeres no son más que conglomerados de empresas que brindan una serie de dinámicas y sinergia entre las empresas, con un comportamiento natural de la economía de una región. Pero cuando, se interviene en la gestión de estrategias para impulsar esta dinámica, se conoce como Iniciativa Clúster.

En este sentido, la definición de acciones estratégicas en una Iniciativa Clúster, juegan parte fundamental dentro del proceso de gestión de este, por lo cual la construcción del plan de acción es una etapa importante dentro del proceso. Una herramienta que puede ayudar a la evaluación de acciones a lo largo del tiempo es la Dinámica de Sistema. A continuación, se describe en que consiste y cuál es la metodología sobre la que trabaja.



## **Dinámica de Sistemas**

La dinámica de sistemas (DS) es una metodología que se desarrolló en 1950 por Jay Forrester en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), la cual se utiliza para el análisis de causa y efecto que existe en un sistema, a partir de la simulación de unas variables en un contexto real. El objetivo de esta metodología es brindar una idea del comportamiento del sistema a través del tiempo, teniendo como base la variación de unas variables que lo conforman. (Omogbai & Salonitis, 2017; Sterman, 2000a)

Esta técnica de modelado se basa en un diagrama de flujo y stock (stock and flow diagram - SFD), el cual es un mapa causal que localiza las variables del sistema y la influencia entre ellas. Las existencias (stock) se expresan a partir de cantidades que caracterizan el sistema, y los flujos son las tasas que acaban y reponen el nivel de stock. (Grigoryev, 2012; Omogbai & Salonitis, 2016)

Por otra parte, las variables se conceptualizan como stock, con flujos de salida y entrada que determinan el valor de la variable de stock; además, se conecta a un flujo de información que conecta las demás variables. El modelo se impulsa a través de los mecanismos de retroalimentación, donde cada uno de estos describe la relación de causalidad entre dos o más variables. Esta retroalimentación puede ser de refuerzo (dos variables se apoyan entre sí) o de equilibrio (una variable actúa en crecimiento de la otra). (Castellacci, 2018)

En el diagrama causal o mapa causal, los nodos son las variables y los bordes son las flechas que representan los flujos o las relaciones de las variables (Barlas, 1996). El diagrama no puede ser simulado por sí solo, sino que requiere de una serie de ecuaciones integrales no

lineales ordinarias que son simuladas a través de dinámica de sistemas para analizar las tendencias de comportamiento en el tiempo (Castellacci, 2018)

Diferentes autores han planteado metodologías para el diseño de modelos de dinámica de sistemas. En el caso de Barlas (1996), propone unos pasos que describen la naturaleza general del diseño del modelo que son: 1. Identificación del problema, 2. Construcción de un modelo conceptual, 3. Formulación del modelo, 4. Análisis y validación del modelo, 5. Análisis y diseño de política, y 6. Implementación.

Por su parte, Sterman (2000) establece que no hay una única metodología para hacer un diseño exitoso, sin embargo, el destaca que los modeladores siguen una serie de actividades que son (Tabla 1):

*Tabla 1. Pasos para aplicación de dinámica de sistemas.*

<i>PASOS</i>	<i>ACTIVIDADES</i>
<i>1. Articular el problema.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección del tema.</li> <li>• Variables claves.</li> <li>• Horizonte de tiempo.</li> <li>• Definición dinámica del problema (comportamiento de variables).</li> </ul>
<i>2. Formular la hipótesis dinámica.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipótesis inicial.</li> <li>• Formulación de hipótesis dinámica.</li> </ul>

- Desarrollo de mapas de estructura causal.
3. Formular el modelo para la prueba de la hipótesis dinámica.
- Especificación de la estructura.
  - Estimación de parámetros, relaciones de comportamiento y condiciones iniciales.
  - Pruebas de consistencia.
4. Probar el modelo hasta comprobar que este adecuado.
- Comprobación de si el modelo reproduce el problema.
  - Realización de pruebas.
5. Diseñar y evaluar las políticas.
- Especificación de escenario.
  - Diseño de políticas.
  - Análisis de los efectos de las políticas.
  - Análisis de sensibilidad.
  - Interacción de políticas.

---

Fuente: Elaboración propia basado en (Stermán, 2000a).

Teniendo claro los ejes temáticos, es posible abarcar la investigación para dar solución a la problemática planteada, que consiste en analizar el comportamiento de las acciones definidas en el tiempo, que ayudaran a la Iniciativa Clúster Metalmeccánico en la transformación digital para alcanzar su estrategia competitiva “Industria 4.0”.

### Estado del arte

Existe un interesante repertorio de casos de estudio relacionados con la industria 4.0, (López Pintor, 2016; Luque et al., 2017; Oliveras Diaz, 2016; Pérez Fernández et al., 2017; Pérez Lara et al., 2017), entre otros. En donde se abordan el tema de diagnóstico, el planteamiento de soluciones productivas, la definición de metodologías, el planteamiento de modelos estratégicos, la evaluación de tendencias y áreas de oportunidad, y la identificación de aplicaciones tecnológicas. A continuación, se hace una descripción un poco más amplia de cada uno de estos referentes.

En la investigación planteada por Luque et al. (2017) se describe un caso de estudio en el sector alimentario de Andaluz (España), en el cual se hace un diagnóstico del recorrido de este sector en materia de la técnica y aplicación de la propuesta para la industria 4.0.

Así mismo, algunos investigadores plantean casos de estudio en materia de Industria 4.0, donde proponen soluciones a determinado sector con el objetivo de mejorar sus condiciones de producción, es el caso de Pérez Fernández et al. (2017) que propone una metodología para el análisis, diagnóstico e implementación de mejoras del centro de construcción Naval de Puerto Real de Navantia, analizando las limitaciones y fortalezas que enmarcan el sistema productivo hacia el entorno de Industria 4.0. La propuesta metodológica es el diseño actual de producción y la simulación a través de virtualización 3D, de los procesos a mejorar, de tal manera que se propongan mejoras en el rendimiento de los procesos.

De igual manera, Oliveras Diaz (2016) propone un modelo estratégico para la excelencia operacional enfocado a establecer las tecnologías de la industria 4.0, partiendo de un diagnóstico

de las empresas para conocer su situación actual y las metodologías que implementan, de tal manera que se proponga una manera de hacer las cosas para el aumento de los beneficios de las empresas y sus colaboradores. El modelo se divide en tres etapas, estratégico, táctico y operativo; donde la fase estratégica se encarga de definir el rumbo estratégico u hoja de ruta para la organización a partir del modelo de Excelencia Operacional PMM (7 pasos); en la fase táctica se realiza un diagnóstico del nivel de madurez (grado de integración de los procesos de la organización, interno y externo) entorno a la Excelencia Operacional y la Industria 4.0, y se diseña el programa; y la fase operativa, desarrolla una serie de pasos para la implementación del plan de Excelencia Operacional teniendo en cuenta las herramientas de Industria 4.0. (Figura 3)



Figura 3. Modelo estratégico para la excelencia operacional enfocado a la industria 4.0.

Fuente: Tomado de (Oliveras Diaz, 2016)

Por otra parte, Pérez Lara et al. (2017) realizaron un estudio en el que revelaron tendencias y áreas de oportunidad en materia de Industria 4.0, a partir de una identificación y descripción de nueve (9) bloques que integran esta estrategia, tomando en cuenta clientes, operaciones y el sistema de producción, de tal manera que se considera un sistema integral. Las nueve (9) categorías son: big data y análisis, robots autónomos, simulación, integración de sistemas horizontales y verticales, internet industrial de las cosas, ciberseguridad, fabricación 3D, realidad aumentada y la nube.

Adicionalmente, construyeron una metodología para la caracterización del modelo de negocio en el contexto de Industria 4.0, enfocado en tres (3) secciones, la integración vertical (criterios: producto, proceso, organización, equipos, humano), la integración horizontal y el uso de las tecnologías de la Industria 4.0. Esta caracterización busca diagnosticar el estado actual de una empresa a partir de la evaluación del sistema de operaciones, de tal manera que le permita tomar decisiones en la implementación de nuevas tecnologías. La forma de evaluación se basa en una gráfica o cuadro de indicadores que ubica el estado de la empresa en cuatro niveles, teniendo como base de orientación los criterios descritos anteriormente, donde la integración vertical (eje Y) se mide en porcentaje, la integración horizontal (eje X) se ubica en cuatro niveles, y el uso de tecnologías de Industria 4.0 en porcentaje en una línea diagonal (Figura 4).

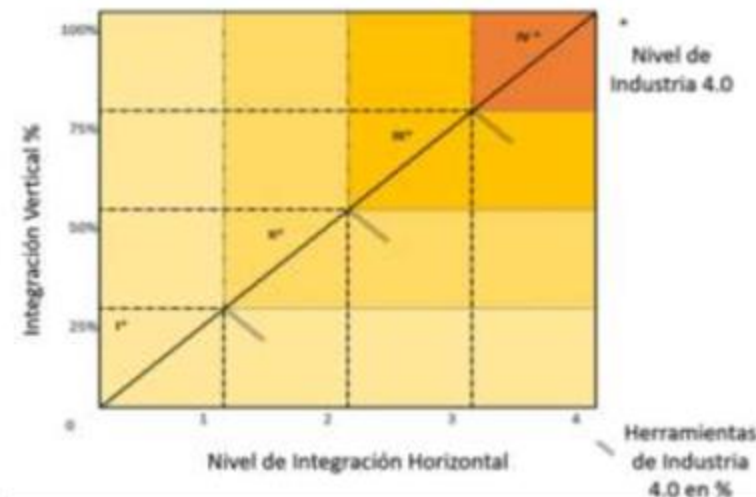


Figura 4. Cuadro de indicadores para el nivel de Industria 4.0.

Fuente: Tomado de (Pérez Lara et al. 2017).

El análisis de las características de la empresa, la ubica en alguno de los cuatro (4) niveles, permitiendo establecer estrategias para fortalecer el sistema o modelo de negocio, para así aumentar la aplicación de tecnologías de Industria 4.0 para el fortalecimiento de la integración vertical y horizontal. En este sentido, los autores concluyen que en términos de aplicación de la industria 4.0 a las empresas, el proceso es menos complicado si hay punto de partida establecido para su implementación, como lo es la caracterización del modelo de negocio en general.

Finalmente, el trabajo de grado de López Pintor (2016) estudia las tecnologías de la Industria 4.0 e identifica cuales pueden ser útiles para los departamentos de las empresas y algunos sectores industriales, de tal manera que las empresas puedan conocer que tecnologías de Industria 4.0 pueden adquirir para una determinada necesidad. El autor identificó en su estudio que las tecnologías más incidentes son sensores, la tecnología RFID, los beacons, las impresoras

3D, dispositivos de realidad aumentada y los sistemas GPS. En la siguiente tabla se muestra las relaciones de mayor incidencia tecnológica dadas por el autor para los departamentos de una empresa (Tabla 2):

*Tabla 2. Relación de tecnologías con departamentos en una empresa.*

DEPARTAME NTOS	SENSORE S	TECN OLOG ÍA RFID	BEACON S	REALIDA D AUMENT ADA	IMPRESO RA 3D	SISTE MA GPS
PRODUCCIÓN	x	x	x	x	x	
VENTAS	x		x			
LOGÍSTICA	x	x	x			x
CALIDAD	x	x		x		
MARKETING			x			
I+D				x	x	

*Fuente: Elaboración propia basado en (López Pintor, 2016).*

En cuanto al análisis sectorial, destaca un mayor uso de estas tecnologías en las industrias de agricultura, ganadería y pesca, manufacturera, comercio por mayor y por menor, y transporte y almacenamiento. Adicionalmente, el autor resalta del sector Manufacturero una mayor incidencia tecnológica sobre los subsectores de fabricación de productos metálicos, fabricación



de productos informáticos, electrónicos y ópticos, y fabricación de vehículos; donde las tecnologías más incidentes para el sector Metalmecánico son sensores, tecnologías RFID, realidad aumentada, impresora 3D y visión artificial. Adicionalmente, el autor destaca el uso de estas tecnologías para cada uno de los sectores y departamentos de la empresa, garantizando que el estudio proporcione una especie de orientación para las organizaciones a la hora de implementar estrategias de Industria 4.0.

A continuación, se presenta la búsqueda de modelos de referencia en torno a la transformación digital y la Industria 4.0, identificando modelos de madurez, modelos de diagnóstico y modelos conceptuales, que analizan esta temática para diferentes fines y contextos (Tabla 3).

*Tabla 3. Modelos de referencia de Transformación digital e Industria 4.0.*

Título	Cita	Descripción
<b>Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0</b>	(Schuh et al., 2014)	El estudio presenta un modelo teórico basado en que la característica central de la Industria 4.0 es la productividad de la colaboración, que a su vez es influida por cuatro habilitadores principales que son: Globalización de TI, fuente única de verdad, automatización y cooperación. De acuerdo con los autores, estos aspectos ayudan al crecimiento de la productividad en la Industria 4.0, por lo cual realizan un análisis desde el nivel cibernético o físico para componentes blandos (software) y duros (hardware).

		<p>Luego establecen un sistema de referencia con unos elementos e indicadores, y sugieren unos mecanismos enfocados en el aumento de la productividad.</p>
<p><b>Diseño de un Modelo de Excelencia Operacional con soporte de la Dirección y Gestión de Proyectos para la Industria 4.0.</b></p>	<p>(Oliveras Díaz, 2016)</p>	<p>Propone un modelo estratégico para la excelencia operacional enfocado a establecer las tecnologías de la industria 4.0, partiendo de un diagnóstico de las empresas para conocer su situación actual y las metodologías que implementan, de tal manera que se proponga una manera de hacer las cosas para el aumento de los beneficios de las empresas y sus colaboradores. El modelo se divide en tres etapas, estratégico, táctico y operativo; donde la fase estratégica se encarga de definir la hoja de ruta para la organización, en la fase táctica se realiza un diagnóstico del nivel de madurez y se diseña el programa, y la fase operativa se desarrolla una serie de pasos para la implementación del plan de Excelencia Operacional teniendo en cuenta las herramientas de Industria 4.0.</p>
<p><b>Caracterización de modelo de negocio en el</b></p>	<p>(Pérez Lara et al., 2017)</p>	<p>Construyeron una metodología para la caracterización del modelo de negocio en el contexto de Industria 4.0, enfocado en tres (3) secciones, la integración vertical (criterios: producto, proceso, organización, equipos,</p>

marco de industria 4.0	de	humano), la integración horizontal y el uso de las tecnologías de la Industria 4.0. Esta caracterización busca diagnosticar el estado actual de una empresa a partir de la evaluación del sistema de operaciones, de tal manera que le permita tomar decisiones en la implementación de nuevas tecnologías.
Instrumento diagnóstico autoevaluación para medir las condiciones organizacionales hacia la nueva revolución industrial 4.0	de (Díaz-Martínez et al., 2018)	Presentan un instrumento de autodiagnóstico digital donde se dé a conocer el grado de madurez de las organizaciones frente a la Industria 4.0 y el porcentaje de usabilidad de las tecnologías, utilizando una prueba de alfa de Cronbach para conocer el coeficiente de aceptabilidad del instrumento. Este diagnóstico sirve de base para que las organizaciones conozcan sus necesidades e implementen acciones y proyectos. El instrumento diagnóstico se compone de dos secciones, una enfocado en el nivel de procesos y digitalización, y el otro en la integración de procesos industriales. Los resultados permiten analizar en que aspectos se está trabajado y en que otros se deben fortalecer.
Impuls - Industry 4.0 Readiness	(Lichtblau et al., 2015)	La fundación Impuls de la Federación Alemana de Ingeniería (VDMA) desarrolló con un grupo de expertos un estudio para diagnosticar el estado de preparación de

		<p>la Industria 4.0 de las empresas. Desarrollaron una metodología basada en el diagnóstico a través de 6 niveles Nivel 0: Forastero, Nivel 1: Principiante, Nivel 2: Intermedio, Nivel 3: Experimentado, Nivel 4: Experto, y Nivel 5: Mejor desempeño; donde se clasifican las empresas en "Newcomers" (nivel 1 y 0), "Learners" (nivel 2) y "Leaders" (nivel 3 al 5). Adicionalmente, el modelo se basa en 6 dimensiones que son Estrategia y organización, fábrica inteligente, operaciones inteligentes, productos inteligentes, servicios basados en datos y empleados. Finalmente, el estudio genera unas acciones por clasificación de empresa.</p>
<p><b>Industry Building digital Enterprise.</b></p>	<p><b>4.0:</b> (Geissbauer et the al., 2016)</p>	<p>El estudio presenta un instrumento de autoevaluación para que las empresas midan su nivel de madurez con respecto a la Industria 4.0, teniendo en cuenta 6 dimensiones: Modelos de negocio, portafolio de productos y servicios, Acceso al mercado y al cliente, Cadenas de valor y procesos, Arquitectura TI, Cumplimiento, legalidad, riesgos, seguridad e impuestos, Organización y cultura. El instrumento identifica su estado real y el objetivo de la empresa en un plazo de 5 años, para mostrar como resultado la</p>

---

		posición en el modelo de madurez (Novato digital, Integrador vertical, Colaborador horizontal, Campeón digital), dando una interpretación general de su estado para el análisis y generación de acciones o estrategias que ayuden a pasar al siguiente nivel.
<b>Industria Conectada HADA</b>	(Secretaría General de Industria y la Pequeña y Mediana Empresa de España, n.d.)	El gobierno español desarrolló un modelo de madurez digital en Industria 4.0 para realizar una aproximación al nuevo paradigma de la transformación digital para que las empresas tengan un referente sobre cómo actuar.
<b>Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital</b>		El modelo de madurez realiza un análisis de cinco dimensiones que son: Estrategia y modelo de negocio, Procesos, Organización y personas, Infraestructura, y Productos y servicios. Adicionalmente, el modelo cuenta con unas palancas por dimensión, las cuales impulsan a la transformación digital y ayudan a identificar las líneas de desarrollo de la empresa. De esta manera se realiza una evaluación integral y se identifican los retos a los que la organización se enfrenta.
<b>Nivel de madurez en la digitalización de</b>	(Programa de Transformación	El Programa de Transformación Productiva (PTP) en Colombia, diseñó en el 2015 un instrumento y metodología con el propósito de cerrar brechas entre la

---

<b>procesos en las empresas</b>	Productiva PTP, 2015)	apropiación tecnológica y el sector empresarial. Este instrumento busca diagnosticar el estado de las empresas y el sector al que pertenecen en cuanto a la Transformación Digital, para identificar oportunidades de mejora e incorporar tecnología como solución; y así desarrollar un plan de acción. El análisis está compuesto por 3 etapas, sectorial, comparativo y plan de digitalización para el sector, donde la fase diagnóstica se le atribuye al análisis sectorial. Esta etapa cuenta con una caracterización de las empresas, análisis general (factores de mayor importancia, transformación de la gestión, digitalización de procesos, digitalización e integración de procesos, procesos de cara al cliente) y un análisis estratégico. El instrumento es aplicable a cualquier sector, y se encuentra adaptado a la realidad de la Transformación Digital de Colombia, desde la perspectiva de las MiPymes y grandes empresas.
<b>Modelo de madurez para la transformación digital</b>	(MinTIC et al., 2018)	El Ministerio TIC, iNNpulsa Colombia, IDOM y TecNALIA Colombia, proponen un Modelo de Madurez para la Transformación Digital, el cual cumple un objetivo diagnóstico de la digitalización de los procesos y la capacidad instalada. El Modelo de Madurez está definido por cinco (5) categorías, y a su vez, estos se

---

subdividen en 16 procesos. Las categorías son: Productos/servicios inteligentes, Relación con el cliente, Operaciones y producción, Cadena de Suministro colaborativa, y Gestión inteligente. Los autores proponen una metodología donde en primera instancia se evalúa la criticidad de los procesos que aplican en el modelo de negocio, y posteriormente se evalúa el nivel de digitalización de cada proceso. Finalmente, se evalúan los habilitadores para la transformación, permitiendo hacer una clasificación en 4 grupos: principiantes, actualizados, conservadores y transformados.

**Transformación Digital - CINTEL** (CINTEL, 2016)  
**- Proyectos TIC Innovadores**

CINTEL es un centro de investigación y desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación que fue creada en 1991. Esta realiza proyectos enfocados a la transformación digital de las empresas tanto públicas como privadas a través de una metodología de asesoría, consultoría y acompañamiento en procesos. Por su recorrido, en el 2016 diseñó un índice de valoración de madurez digital, el cual contiene indicadores de eficiencia; evaluando factores como la parte operativa, diseño y entrega de productos y servicios, innovación en el modelo de negocio, competencias y capacidades

---

---

		<p>organizacionales. Posteriormente, se da la identificación de brechas para la construcción de una hoja de ruta, donde se aplica un enfoque de priorización para la selección de proyectos que impacten eficientemente la productividad y competitividad de la empresa en estudio, teniendo en cuenta la capacidad de inversión.</p>
<p><b>Metaindustry4,</b> <b>Clúster industrial</b> <b>del metal</b></p>	<p>(Metaindustry4, Clúster Industrial Del Metal, n.d.).</p>	<p>“MetaIndustry4” es un Clúster de Gijón-España, el cual fue el referente para el viaje de referencia de la ruta competitiva de la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico. Actualmente trabaja bajo 4 ejes y objetivos estratégicos, que son: Integración en cadenas globales de valor, Innovación colaborativa y mejora tecnológica, Gestión del capital humano, y Cooperación público-privada. Cada uno de estos ejes engloba la estrategia para aplicar la Industria 4.0 en el Clúster, teniendo en cuenta las características de estos dos conceptos y cómo trabajan en conjunto para el beneficio del sector. Adicionalmente, MetaIndustry4 cuenta con un modelo de análisis de transformación digital llamada “e-Industria4.0”, la cual fue diseñada para analizar el nivel actual y potencial de adopción de digitalización basado en siete áreas de análisis, que son: Estructura organizativa y estrategia; Gestión corporativa; Procesos</p>

---



de fabricación y producción avanzada; Logística; Diseño de productos; Promoción y comercialización; e Innovación. De esta manera se tiene un panorama integral sobre la implementación y el uso de tecnologías, mostrando resultados tempranos en cada área para trabajar adecuadamente sus planes estratégicos desde las empresas y desarrollo de proyectos en el Clúster para el posicionamiento del sector.

*Fuente: Elaboración propia.*

En cuanto a modelos con dinámica de sistemas y análisis de factores de transformación digital e Industria 4.0, se identificaron los siguientes estudios en la revisión bibliográfica (Tabla 4):

*Tabla 4. Modelos con dinámica de sistemas y Transformación igital o Inustria 4.0.*

Título	Cita	Enfoque de estudio
<b>A Comprehensive Framework for the Analysis of Industry 4.0 Value Domains</b>	(Martínez-Olvera & Mora-Vargas, 2019)	El presente estudio plantea un nuevo modelo de negocio basado en la personalización masiva y la sostenibilidad para la creación de valor, el cual se materializa en el marco Cliente-Producto-Proceso-Recurso (CPPR 4.0), que propone el ciclo de propuesta de valor, creación y captura. En el estudio el marco integral propuesto se ejemplifica a través de un modelo de dinámica de sistemas del paradigma de personalización masiva

---

dentro del entorno de Industria 4.0, para el estudio de su comportamiento. El marco establece tres dominios de valor de la Industria 4.0, que son propuesta de valor (enfocado en el elemento producto o servicio), captura de valor (elemento cliente), y creación de valor (elemento proceso y recursos); con lo cual se establece el marco de referencia del modelo propuesto. Para ejemplificar el marco, se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas del paradigma de personalización masiva, donde fue necesario definir unos atributos y razonamientos para el modelo desde el contexto de personalización masiva, generando un diagrama causal. El objetivo del modelo de dinámica de sistemas es analizar el Volumen de producción bajo diferentes niveles de personalización y nivel de reconfiguración del sistema. Los resultados muestran que existen un impacto mucho más alto del Nivel de Reconfiguración del Sistema en el Volumen de Producción que el impacto del Nivel de Personalización; lo cual quiere decir que es posible una propuesta de valor sostenible cuando existen altos niveles de tecnología. Para futuras investigaciones los autores postulan el uso del marco CPPR 4.0 en un modelo de información operativa en tiempo real, lo cual es necesario para respaldar de forma efectiva la personalización masiva.

A	(Hidayatno,	Esta investigación propone una estructura de políticas que
<b>Conceptualization</b>	Rahman, &	impulsen la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 en
<b>of Industry 4.0</b>	Irminanda,	el sector textil y de confección en Indonesia, a partir de una
<b>Adoption on</b>	2019)	exploración de relaciones estructurales, teniendo en cuenta
<b>Textile and</b>		roles de las partes interesadas de esta industria. El resultado de
<b>Clothing Sector in</b>		la investigación consiste en un diagrama conceptual como
<b>Indonesia</b>		resultado de un diagrama de bucle causal, que involucra
		variables de varias teorías del proceso de adopción tecnológica
		de Industria 4.0. Es importante aclarar que este sector contaba
		con una hoja de ruta construida desde el gobierno, titulada
		"Making Indonesia 4.0", y el estudio parte de estas políticas
		para la construcción del modelo. El modelo está conformado
		por cuatro variables de entrada que son: Crecimiento industrial,
		Impacto de la tecnología en la Industria 4.0, Disponibilidad de
		tecnología de eficiencia energética, y Competencia global de la
		industria textil y de confecciones. Además, cuenta con cinco
		bucles de refuerzo y tres indicadores de salida. Como resultado
		obtienen que bajo las condiciones existentes y las políticas
		gubernamentales las variables definidas de la industria Textil y
		de confecciones adoptan las tecnologías de Industria 4.0,
		contribuyendo a la economía. La variable más incidente en la
		adopción de Industria 4.0 es la ventaja relativa de la tecnología,
		determinada por el costo de adopción, la ventaja competitiva y

el margen de beneficio. Los autores recomiendan acelerar la adopción con financiación y medios para adquirir nuevas habilidades y competencias tecnológicas, es decir, adicionar políticas de inversión o que la estimulen. Por su parte, concluyen la importancia de un plan de acción concreto hacia la adopción de la Industria 4.0, con la participación y alineación de todas las partes interesadas

<p><b>A System</b></p> <p><b>Dynamic Model</b></p> <p><b>for</b></p> <p><b>Implementation</b></p> <p><b>of Industry 4.0</b></p>	<p>(Marzieh</p> <p>Khakifirooz</p> <p>et al., 2018)</p>	<p>La investigación propone un modelo de simulación con</p> <p>dinámica de sistemas para evaluar la implementación de</p> <p>Industria 4.0 en la fabricación inteligente. Los autores destacan</p> <p>cuatro componentes principales para la Industria 4.0, que son</p> <p>Sistemas Ciber Físicos (CPS), Internet de las cosas (IoT), Smart</p> <p>Factory e Internet e servicios (IoS); y a su vez, basado en la</p> <p>literatura determinan seis principios clave para diseñar</p> <p>Industria 4.0, que son: Interoperabilidad, Virtualización,</p> <p>Descentralización, Capacidad en tiempo real, Orientación al</p> <p>servicio, y Modularidad. Estos principios se encuentran</p> <p>relacionados con componentes principales de la Industria 4.0.</p> <p>El modelo propuesto es aplicado a un caso de estudio donde se</p> <p>definen los componentes del sistema de acuerdo con el modelo</p> <p>de dinámica de sistemas definido.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>A System</b>	(Casalino &	El estudio propone un modelo de dinámica de sistemas del
<b>Dynamics Model</b>	Draoli, 2010)	proceso de digitalización en Administradoras Públicas, donde
<b>to Identify and</b>		el caso de estudio es Italia. El modelo se encuentra enfocado en
<b>Measure the</b>		analizar las interacciones de factores del mundo exterior o
<b>Paper</b>		ciudadanos y el mundo interior o de la Administración Pública
<b>Digitization</b>		italiana; cada uno de estos se estudió de forma independiente,
<b>Advantages in</b>		y luego las interacciones de los submodelos. En la
<b>Public</b>		Administración Pública se revisó el proceso de gestión de
<b>Administration</b>		documentos con la introducción de nuevas tecnologías y su
		influencia en el volumen de documentos digitales e influencia
		en costes de producción y archivo. Para el caso de los
		ciudadanos analizaron la influencia de la Alfabetización en TI
		y la interacción en línea de servicios de la Administradora
		Pública utilizando nuevas tecnologías, son importantes para
		ayudar a reducir la brecha de digitalización en esta entidad.
		Finalmente, los resultados mostraron que para que exista una
		experiencia completa y exitosa entre estos dos submodelos en
		busca de una digitalización es necesario trabajar en unos
		obstáculos relacionados con la mejora de habilidades
		organizativas mediante la formación y de contratación, y
		trabajar en aspectos psicológicos relacionados con la
		disposición al cambio; adicional a los cambios de perspectiva

tecnológica, herramientas para el desarrollo de actividades y la redefinición del sistema de gestión.

<p><b>Conceptualizing the Promise of Industry 4.0 Technology Adoption: Case Study of Indonesian Automotive Industry</b></p>	<p>(Hidayatno, Rahman, &amp; Daniyasti, 2019)</p>	<p>El estudio plantea como pregunta problema "¿Qué aspectos o factores podrían acelerar el proceso de adopción de tecnología?", por lo cual a través del estudio realizan una exploración de las políticas que más influyen en el crecimiento de la adopción tecnológica de Industria 4.0 y su impacto en medidas nacionales como el PIB, la eficiencia industrial y el consumo de energía a lo largo del tiempo; trabajando como caso de estudio la industria automotriz de Indonesia. Para esto construyen un modelo conceptual cualitativo con dinámica de sistemas con un enfoque de decisiones empresariales en la adopción tecnológica (políticas) y como estas impactan en las ganancias de la economía nacional; este proyecto dentro el marco de la estrategia nacional "Making Indonesia 4.0". Como primera parte del proceso metodológico trabajaron en el diagnóstico a partir de un taller de autoevaluación llamado INDI 4.0, realizado por el Ministerio de Industria de Indonesia con la participación e 193 empresas del sector automotriz, mostrando un resultado de 1,48 de 4, lo cual significa que actualmente hay una aplicación de planes estratégicos para la transformación de tecnologías de producción. En la construcción del modelo de dinámica de sistemas se relacionan 6 bucles de refuerzo que explican la interacción de las variables de entrada y salida del modelo, donde la primera se deriva de</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



supuestos como tipo de cambio, tasa crecimiento industrial, asociación comercial global, entre otros. En el caso de las variables de salida se trata de tecnología Industria 4.0 adoptante, producción de componentes automotrices, ventas nacionales, exportaciones de automóviles, crecimiento el PIB de Indonesia, entre otros. Los resultados muestran que hay potencial en el crecimiento de la industria y a nivel nacional con la adopción de tecnologías de Industria 4.0 en el caso de estudio; además, es posible una reducción del consumo de energía con la adopción de innovaciones y tecnologías avanzadas. Las políticas evaluadas fueron: Otorgar incentivos fiscales a empresa receptora, Link and Match programa vocacional, Impuestos de superdeducción, y la exención e impuestos para la adopción de tecnologías.

<b>Digital Technologies Towards Resource Efficiency in the Agrifood Sector: Key Challenges in</b>	(Anastasiadis & Tsolakis, 2018)	El estudio propone el uso de la metodología de dinámica de sistemas para estudiar el uso eficiente de recursos en el sector de la agroalimentaria, permitiendo determinar áreas de intervención para una adecuada apropiación de los recursos naturales y buscar la sostenibilidad, desde la perspectiva de la cadena de suministro. El proyecto tuvo como resultado un marco o mapa para la evaluación e implementación de intervenciones digitales, alineado a la sostenibilidad del sector
---------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Developing**

**Countries**

de estudio. Para esto fue necesaria hacer un mapa de los desafíos de sostenibilidad en el sector agroalimentario en países en desarrollo; luego la identificación de efectos causales de los desafíos en el sistema; para así definir el problema a través del mapeo y modelado, e incluir políticas alineadas al objetivo de sostenibilidad. Los resultados muestran que es importante la selección de tecnologías digitales para hacer frente a los desafíos.

**Managing**

**information**

**complexity using**

**system dynamics**

**on construction**

**projects**

(Iqbal et al.,  
2016)

El estudio utiliza la metodología de dinámica de sistemas como herramienta de análisis y modelado para entender e identificar los elementos clave en la absorción de la computación en la nube para las PYMES en el sector de la construcción, buscando la mejora de su rendimiento en la transferencia de la información y datos; teniendo en cuenta que los proyectos de construcción ahora requieran de una mayor infraestructura tecnológica para su desempeño. Para esto se desarrollaron dos fases: 1. Desarrollo del modelo de Dinámica de sistemas abordando a complejidad de la información para PYMES, 2. Desarrollo de marco conceptual para la mejora del flujo de información en PYMES (información de trabajo y retroalimentación). En esta última fase se determinaron Factores (problemas a los que se enfrentan las PYME), Habilitadores (herramienta que ayuda abordar el problema

generado por los factores), y Producción (elementos afectados por los factores, afectando el proyecto). Como resultado el modelo de dinámica de sistema permitió gestionar la información mediante la colaboración con tecnologías, ayudando a mejorar el flujo de la información de proyectos, impactando la productividad y rendimiento de PYME. Con esto se propuso un marco conceptual de trabajo con contratistas, para mejorar la información y la gestión de documentos.

<p><b>The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains</b></p>	<p>(Ghadge &amp; Moradlou, 2020)</p>	<p>Esta investigación tuvo como objetivo analizar el impacto de la implementación de la Industria 4.0 en la cadena de suministro, para así generar un marco de implementación de la Industria 4.0, considerando barreras y elementos impulsores. Para esto se realizó una revisión de la literatura que ayudó a identificar barreras y elementos impulsores en la Industria 4.0 bajo el contexto de la cadena de suministro; esta información se categorizó en cuatro dimensiones: organizacional, legal y ética, estratégica y tecnológica. Luego se modeló la cadena de suministros adaptado al enfoque de Industria 4.0, utilizando dinámica de sistemas. Seguidamente se hizo un análisis de</p>
--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

impacto de las barreras y elementos impulsores en la implementación de la Industria 4.0 en el sistema de cadena de suministro. Finalmente, los resultados permitieron generar un modelo conceptual para la adaptación y transición de la Industria 4.0 en las cadenas de suministros de forma exitosa y acelerada. Las limitaciones del estudio es que la propuesta no uso datos empíricos para probar el modelo, usando suposiciones para facilitar el análisis; además, se consideraron solo las tecnologías RFID y la computación en la nube para el desarrollo y evaluación del modelo.

<div> <b>A system dynamic approach for product lifecycle affected by industry</b> </div>	<div> (M Khakifirooz &amp; Fathi, 2019) </div>	<div>                     La investigación presenta un modelo de simulación con dinámica de sistemas que ayuda analizar los criterios de fabricación inteligente de Industria 4.0 y su influencia en el ciclo de vida de los productos, teniendo en cuenta que la digitalización aporta valor añadido a los productos y servicios. El modelo tiene en cuenta los factores que influyen en el ciclo de vida de un producto, como el costo de control, costo de desarrollo, y protección del sistema.                 </div>
<div> <b>Decision support for the implementation of Industry 4.0 methods:</b> </div>	<div>                     (Liebrecht et al., 2021)                 </div>	<div>                     La investigación establece un marco de decisión para la implementación de elementos de Industria 4.0 basado en un análisis con dinámica de sistemas, a nivel empresarial. El enfoque de evaluación es financiero, estratégico y orientado a beneficios de los métodos de Industria 4.0. La metodología                 </div>

<b>Toolbox,</b>  <b>Assessment and</b>  <b>Implementation</b>  <b>Sequences for</b>  <b>Industry 4.0</b>	propone una evaluación de los métodos desde una perspectiva monetaria, basándose en características de la empresa, el enfoque estratégico y el mercado. La evaluación da lugar a la postulación de escenarios con unos métodos específicos, priorizados y con valor agregado, que luego se simulan en el modelo de dinámica de sistemas. Los resultados generan una recomendación o hoja de ruta para la implementación de Industria 4.0 en la empresa.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

*Fuente: Elaboración propia.*

Como estudios de la tabla 3 hay muchos que trabajan en materia de transformación digital e Industria 4.0 teniendo en cuenta de que se trata de una temática reciente, y por tanto una interesante oportunidad de investigación desde diversas áreas, por lo cual se han sumado investigaciones enfocadas al uso de dinámica de sistemas en el tema, como se observa en los estudios descritos en la tabla 4. Es evidente que los estudios con dinámica de sistemas en este contexto permiten hacer una análisis sistémico y causal de factores en diferentes escenarios, como lo es en cadena de suministros, empresas, sector público, construcción, agroalimentario, entre otros; permitiendo un análisis de esta nueva apuesta como lo es la Industria 4.0 o aspectos influyentes en la misma, como la adopción tecnológica, personalización masiva, implementación y digitalización de procesos, uso eficiente de recursos, computación en la nube, criterios de fabricación inteligente, marco de decisión para aplicar este tipo de tecnologías, entre otros.

Alineado a los referentes bibliográficos, el marco del proyecto busca poder usar la herramienta de dinámica de sistemas para el estudio sistémico y causal de la Transformación Digital, con el objetivo de focalizar acciones hacia la estrategia competitiva de la Iniciativa

Clúster Metalmeccanico del Atlántico; partiendo de la necesidad de determinar una ruta o acciones enfocadas al desarrollo de la estrategia Industria 4.0 y la consolidación de acciones de la Iniciativa Clúster.

Finalmente, la literatura destaca la importancia de una normativa u hoja de ruta en materia de industria 4.0, de tal manera que resulta ser una guía para las empresas o sectores que pretenden emprender la estrategia (Oliveras Diaz, 2016; Qin et al., 2016). Por otra parte, Götz & Jankowska (2017) resaltan las relaciones que hay entre la Industria 4.0 y los Clúster, concluyendo que el entorno favorable de confianza y colaboración que establecen los conglomerados, facilitan la transformación digital de las empresas hacia la Industria 4.0.

### **Diseño metodológico**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se definió un enfoque, alcance y diseño de investigación tomando como referencia lo descrito por los autores Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014), en su libro “Metodología de la investigación”. De esta manera, se estableció un enfoque cuantitativo debido a que el eje central del trabajo se basó en la construcción del modelo de simulación para medir el nivel de Transformación Digital a partir de un análisis de escenarios de la estrategia Industria 4.0 de la Iniciativa Clúster Metalmecánico, por lo cual fue necesario un conjunto de procesos de forma secuencial y probatorio para un posterior análisis de resultados. El alcance fue de tipo correlacional teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto busca la cuantificación de variables para el estudio de sus relaciones y predicción del comportamiento del sistema en el tiempo, para así llegar a un análisis de los escenarios dados por las acciones de la estrategia Industria 4.0.

En cuanto al diseño de investigación, se estableció de tipo no experimental longitudinal por panel, debido a que el estudio tenía como objetivo analizar cambios en las variables del sistema de simulación a lo largo del tiempo, partiendo de un primer escenario y prediciendo los resultados de las acciones de la estrategia Industria 4.0 para la misma muestra de empresas en otro momento de tiempo.

El sistema de estudio o población del trabajo fueron las empresas activas de la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico, la cual corresponde a 25 empresas que se encuentran lideradas por la Asociación Colombiana de Micros, Pequeñas y Medianas Empresas (ACOPI); una organización gremial que busca fortalecer el desarrollo de los sectores de este tipo de empresas para generar progreso en las regiones (ACOPI, n.d.). En este sentido, teniendo en

cuenta que la población es bastante pequeña y son empresas que se encuentran en una dinámica participativa en la Iniciativa Clúster, se decidió realizar el diagnóstico a las 25 empresas.

Para el desarrollo del proyecto fueron necesarias 3 fases metodológicas que parten de los objetivos específicos y la metodología definida por Sterman (2000) para la implementación de dinámica de sistemas; y a su vez aportan al cumplimiento del objetivo general. Las fases son las siguientes (Tabla 5):

*Tabla 5. Fases y actividades de la metodología.*

<i>Fases</i>	<i>Actividades</i>
1. Diagnóstico de la Transformación digital como base de la estrategia Industria 4.0.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Definición de factores y variables de Transformación digital a partir de la literatura para la articulación del problema.</li> <li>Identificación del grado de importancia y relaciones de factores y variables de la Transformación digital.</li> <li>Aplicación de instrumento diagnóstico del nivel de Transformación digital, suministrado por el Programa de Transformación productiva (PTP), para la toma de datos del sistema.</li> </ol>
2. Modelación de la Transformación digital para análisis de escenarios encaminados a la	<ol style="list-style-type: none"> <li>Formulación de hipótesis dinámica.</li> <li>Formulación del modelo de simulación: diagrama de flujos y niveles.</li> <li>Validación del modelo de simulación.</li> </ol>



estrategia Industria 4.0. Resultados del modelo base y análisis de escenarios.

4.0.

3. Propuesta de Plan de acción para la Transformación digital basado en el análisis de escenarios.

Transformación digital en el marco de la estrategia competitiva

2. Construcción de la propuesta del plan de acción basado en los resultados del modelo.

de la estrategia

competitiva

Industria 4.0.

---

Fuente: Elaboración propia.

En la fase 1, se realizó una caracterización de factores y variables de la Transformación digital, con el propósito de definir el sistema de estudio y articular el problema. Además, se aplicaron las metodologías de Analytic Hierarchy Process (AHP) y Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), donde la primera permitió identificar el nivel de importancia de los factores y variables del sistema, y la segunda ayudó a revisar las relaciones de interdependencia e influencia entre estos; permitiendo tener una articulación completa del problema. Para la implementación de estas herramientas fue necesario construir un instrumento que fue validado y aplicado a un grupo de expertos (4 personas) en materia de Transformación Digital e Industria 4.0. Es importante aclarar que para este caso se implementó un muestreo no probabilístico debido a que se trataba de un panel de expertos.

Posteriormente se implementó una herramienta diagnóstica del nivel de Transformación Digital del Programa de Transformación Productiva (PTP), ahora llamada Colombia Productiva,

para la toma de datos del nivel de Transformación digital en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico. De acuerdo con la revisión bibliográfica y comparando los diferentes instrumentos y modelos identificados, se determinó que este cumplía con las características conforme al objetivo que se plantea esta investigación y al sistema de transformación digital identificado.

En la fase 2, se desarrolló la hipótesis dinámica basado en el análisis y construcción del diagrama causal del sistema de estudio, donde se revisó su comportamiento y las interacciones, de tal manera que se pudiera definir a partir de una hipótesis cual sería el comportamiento esperado. Para la construcción del diagrama causal y el modelo, fue necesario utilizar los resultados de las metodologías de Analytic Hierarchy Process (AHP) y Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), teniendo en cuenta que la primera permitió tener los pesos ponderados de los factores y variables del sistema, y el segundo las relaciones de influencia entre estos.

Seguidamente se construyó el modelo de simulación y se validó utilizando pruebas de estructura, de comportamiento orientada a la estructura y de comportamiento. Con el modelo validado, se definieron y evaluaron las acciones estratégicas a partir de análisis de escenarios en el modelo de simulación.

En la fase 3, se analizaron los resultados de los escenarios y se definieron las acciones más incidentes en la Transformación Digital, para así construir la propuesta de plan de acción para la Transformación Digital en la estrategia competitiva Industria 4.0.

### **Diagnóstico de la Transformación Digital como base de la estrategia Industria 4.0**

El objetivo de esta investigación consistió en identificar las acciones de mayor impacto para la Transformación Digital que ayuden al desarrollo de la estrategia competitiva de Industria 4.0 en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico, utilizando un modelo de simulación con dinámica de sistemas. Para la fase diagnóstica, fue necesario identificar los factores y variables que describen o permiten evaluar la Transformación digital, para así definir cuáles serían los del modelo propuesto. Posteriormente, fue necesario utilizar unas metodologías que permitieron determinar las relaciones y pesos ponderados del sistema. Estas metodologías son Analytic Hierarchy Process (AHP) y Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL); donde el proceso analítico jerárquico ayudó a determinar los pesos ponderados (nivel de importancia) de cada factor y variable del modelo, y el laboratorio de prueba y evaluación de toma de decisiones a mirar las relaciones de interdependencia e influencias que podían existir entre ellos. Dentro de esta fase de la metodología aplicada, fue necesario conformar un grupo de expertos en transformación digital para aplicar los instrumentos de AHP y DEMATEL, que permitirían el posterior análisis para el diagnóstico inicial y la construcción del modelo base. Esta información permitió la articulación del problema, la formulación de la hipótesis dinámica y la construcción del diagrama causal, y el desarrollo del modelo.

Finalmente, la fase concluyó con la identificación y aplicación de una herramienta especializada para el diagnóstico de la Transformación digital de la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico para tomar los datos actuales.

### 1.1. Definición de factores y variables de Transformación Digital

A continuación, se describen los Factores y Variables (sub-factores) de estudio del nivel de Transformación digital hacia la estrategia competitiva Industria 4.0 (Tabla 6).

*Tabla 6. Factores y variables de la transformación digital.*

<b>Factor</b>	<b>Autores</b>	<b>Variable</b>	<b>Autores</b>
<b>Implementación digital</b>	(Henriette et al., 2015)	Digitalización de	(Berghaus & Back,
	(Morakanyane et al.,	procesos	2016)
	2017)		(Parviainen et al.,
	(Parviainen et al., 2017)		2017)
	(Van Veldhoven &		(Henriette et al., 2016)
	Vanthienen, 2019)		(Heavin & Power,
	(Sahu et al., 2018)		2018)
			(Braga Tadeu et al.,
			2019)
		Integración de	(Berghaus & Back,
		procesos	2016)
			(Sahu et al., 2018)
			(Heavin & Power,
			2018)

			(Reis et al., 2018)
			(Schumann et al., 2017)
		Digitalización de	(Berman, 2012)
		procesos de cara	(Henriette et al., 2015)
		al cliente	(Schuchmann & Seufert, 2015)
			(Morakanyane et al., 2017)
			(Berghaus & Back, 2016)
<b>Gestión de la</b>	(Berman, 2012)	Disposición	(Berghaus & Back,
<b>digitalización</b>	(Matt et al., 2015)	Organizacional	2016)
	(Henriette et al., 2015)		(Braga Tadeu et al., 2019)
	(Chanias & Hess, 2016)		(Albrecht, 2015)
	(Morakanyane et al., 2017)		(Azhari et al., 2014)
			(von Leipzig et al., 2017)
		Desarrollo de	(Berghaus & Back, 2016)
		proyectos	(Valdez-de-Leon, 2016)

---

			(Bazsová, 2017)
			(Ochoa, 2016a)
		Capital humano	(Henriette et al., 2015)
		capacitado	(Schuchmann & Seufert, 2015)
			(Morakanyane et al., 2017)
			(Bouée, 2015)
			(Braga Tadeu et al., 2019)
<b>Alineación</b>	(Berman, 2012)	Enfoque	(Morakanyane et al.,
<b>estratégica</b>	(Bharadwaj et al., 2013)	estratégico	2017)
	(Hansen & Sia, 2015)		(Berghaus & Back,
	(Matt et al., 2015)		2016)
	(Van Veldhoven & Vanthienen, 2019)		(Parviainen et al., 2017)
			(Henriette et al., 2016)
			(Heavin & Power, 2018)

---

Gobernabilidad sobre los procesos	(Berghaus & Back, 2016)
	(Sahu et al., 2018)
	(Heavin & Power, 2018)
	(Braga Tadeu et al., 2019)
	(Azhari et al., 2014)
Disposición de inversión TI	(Braga Tadeu et al., 2019)
	(EFI–
	Expertenkommission
	Forschung und
	Innovation, 2016)
	(Ochoa, 2016b)

Fuente: Elaboración propia.

Se definen cada uno de estos conceptos basado en la recopilación bibliográfica que los soporta.

## FACTORES:

- 1. Implementación digital:** Inversión o esfuerzo en iniciativas tecnológicas para cambiar la gestión en los procesos de la empresa.
- 2. Gestión de la digitalización:** Desarrollo de capacidades internas necesarias para transformar digitalmente y de manera integral toda la organización, enfocado a entender

la disposición de la empresa para alinear su modelo de negocio con la tecnología incorporada o a incorporar.

- 3. Alineación estratégica:** Enfoque estratégico y disposición al desarrollo digital a partir de la creación de capacidades internas necesarias y la gobernabilidad de proceso en su modelo de negocio.

## VARIABLES O SUB-FACTORES DE IMPLEMENTACIÓN DIGITAL

- 1. Digitalización de procesos:** Consiste en la aplicación de iniciativas tecnológicas para la gestión de la información, y el uso de mecanismos para la automatización de procesos para la gestión de recursos.
- 2. Integración de procesos:** Integración de los procesos para generar colaboración y articulación con colaboradores y con el cliente.
- 3. Digitalización de procesos de cara al cliente:** Gestión de clientes a través de la articulación y comunicación con la empresa.

## VARIABLES O SUB-FACTORES DE GESTIÓN DE LA DIGITALIZACIÓN

- 1. Disposición en la implementación:** Disposición de una empresa para la implementación de actividades o estrategias digitales.
- 2. Desarrollo de proyectos:** Enfoque o estado de la empresa en el desarrollo de proyectos encaminados a la digitalización, y alineado a una estrategia.
- 3. Capital humano capacitado:** Personal para actividades de digitalización y que cuente con la preparación hacia capacidades digitales.



**VARIABLES O SUB-FACTORES DE ALINEACIÓN ESTRATÉGICA**

1. **Enfoque estratégico:** Determina la importancia de los procesos o enfoque estratégico de la empresa acorde a los procesos que lleva y el objetivo de la empresa.
2. **Gobernabilidad sobre los procesos:** Grado de control o dominio que la empresa tiene en la consecución de objetivos digitales.
3. **Disposición de inversión TI:** Disposición para invertir en soluciones tecnológicas a corto plazo.

Es importante mencionar, que para adaptar el instrumento diagnóstico del PTP al presente estudio fue necesario determinar una clasificación de algunos sub-factores, que son:

**Para la variable o sub-factor de digitalización de procesos:**

1. **Gestión de la información y los datos:** Gestión la información y los datos de los procesos operacionales, financieros y comerciales.
  - 1.1. **Gestión de la información de procesos operacionales:** Gestión la información y los datos de los procesos de cara a la operación de la empresa, como lo es la programación de la producción/servicio, fabricación, gestión de inventarios y gestión de proveedores.
  - 1.2. **Gestión de la información de procesos financieros:** Gestión la información y los datos de los procesos de cara a la parte financiera de la empresa, como lo es la gestión financiera, compras, pagos y recaudos.
  - 1.3. **Gestión de la información de procesos comerciales:** Gestión la información y los datos de los procesos de cara al marketing y ventas.

2. **Digitalización para la gestión:** Manejo software para la gestión de recursos, tiempo y alcances, en sus procesos.

**2.1.Digitalización de procesos operacionales:** Manejo software para la gestión de recursos, tiempo y alcances, en sus procesos operacionales, como lo es la programación de la producción/servicio, fabricación, gestión de inventarios y gestión de proveedores.

**2.2.Digitalización de procesos financieros:** Manejo software para la gestión de recursos, tiempo y alcances, en sus procesos financieros, como lo es la gestión financiera, compras, pagos y recaudos.

**2.3.Digitalización de procesos comerciales:** Manejo software para la gestión de recursos, tiempo y alcances, en sus procesos comerciales, como lo es el marketing y las ventas.

**Para la variable o sub-factor de integración de procesos:**

1. **Integración de procesos operacionales:** Cantidad de procesos que tiene integrada la información entre sí.
2. **Acceso de productos o servicios a sus clientes:** Nivel de facilidad de acceso de productos o servicios a sus clientes.
3. **Herramientas de movilidad o teletrabajo de colaboradores:** Nivel de uso de herramientas para facilitar movilidad o teletrabajo (trabajo remoto).

4. **Colaboración interna entre procesos y colaboradores:** Nivel de colaboración interna entre procesos (plataformas, chats, redes, otros).

**Para la variable o sub-factor de Digitalización de procesos de cara al cliente:**

1. **Digitalización en Página Web:** Visibilidad de cara al cliente a través de página web u otro mecanismo, como aplicaciones.
2. **Comunicación con potenciales clientes:** Estrategias para comunicarse con potenciales clientes.
3. **Estrategias para conocer al cliente:** Manejo de estrategias para conocer al cliente y retroalimentar el sistema.
4. **Gestión de clientes:** Estrategias enfocadas a la gestión de los clientes para vender más y ser más competitivo.

**Para la variable o sub-factor de enfoque en el desarrollo de proyectos:**

1. **Proyectos enfocados en digitalización:** Nivel de interés de la empresa en aplicar proyectos enfocados en digitalización (Respaldo estratégico en el presente).
2. **Presupuesto para desarrollo de proyectos:** Existencia de presupuesto para desarrollo de proyectos.

**Para la variable o sub-factor de Capital humano capacitado:**

1. **Personal para el desarrollo de proyectos:** Personal con dedicación para apoyar proyectos en su empresa relacionados con digitalización.
2. **Preparación de la organización para actividades digitales:** Nivel de preparación de la organización para desarrollo de actividades digitales.

**Grado de importancia y relaciones de factores y variables de Transformación Digital.**

Para la identificación del grado de importancia y relación de factores y variables se implementaron respectivamente las metodologías de Analytic Hierarchy Process (AHP) y Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL). A continuación, se detalla el proceso implementado y los resultados para cada una.

**Desarrollo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP).**

Esta metodología fue propuesta por Thomas Saaty en 1980, la cual ayuda a la toma de decisiones multicriterio basado en la jerarquización y comparaciones pareadas utilizando juicio de expertos, para dar como resultado una escala de prioridad. Su objetivo es convertir las evaluaciones en importancia relativa para llegar a unos pesos totales, que en la toma de decisiones servirán para la elección de la mejor alternativa (Yajure, 2015). Para esta comparación se usa una escala de juicio absoluto, que representa el grado en que un elemento es más importante que otro (Saaty, 2008).

En este estudio la herramienta se utilizó para determinar los pesos de cada uno de los factores y variables (sub-factores) en torno el sistema de Transformación digital, para así tener el grado de incidencia de cada uno en el cálculo del diagnóstico inicial y la base de construcción del modelo. Adicionalmente, permitió identificar los factores mas incidentes para el enfoque de las acciones dentro del modelo.

A continuación, se describe paso a paso el desarrollo de este método en el presente estudio basado en la metodología que establece el autor (Saaty, 1990):

**Paso 1.** Se estructuró la jerarquía de criterios y subcriterios basado en los factores, variables y clasificaciones identificados en el estudio.

**Paso 2.** Se Construyó un instrumento (encuesta) para la comparación por pares de los criterios y subcriterios que descomponen la transformación digital, la cual fue desarrollada por 4 expertos. Este instrumento consiste en la comparación y evaluación de cada uno de estos utilizando la escala de Saaty, la cual es una escala positiva que permite eliminar la ambigüedad al comparar elementos (Moreno Jiménez, 2002).

En este trabajo se adoptó una escala reducida de 3 puntos para facilitar la evaluación por parte de los expertos, definiéndose de la siguiente manera: 1 como “Ambas acciones son igual de importantes”, 3 como “Débil o moderada importancia de una sobre la otra”, 5 como “Importancia esencial de una acción sobre la otra”. El número entero se ubica en su posición apropiada, y el recíproco de la evaluación es la transposición de acuerdo con lo que establece la metodología. De esta manera se tiene la siguiente escala de evaluación (Tabla 7).

*Tabla 7. Escala de AHP para evaluación.*

Escala de AHP reducida	Definición
1	Igualmente importante
3	Mas importante
5	Mucho más importante
1/3	Menos importante
1/5	Mucho menos importante

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 3.** Se recopilaron los resultados de las comparaciones realizadas en el instrumento y se construyeron unas matrices con las medias geométricas por cada criterio y subcriterio, ubicando su recíproco en la posición de transposición.

**Paso 4.** Luego las matrices se normalizaron, es decir, se dividió cada valor de la matriz entre la suma de sus columnas. Se determinaron los pesos locales por cada criterio y subcriterios, con el promedio de los valores de las filas de la matriz normalizada.

**Paso 5.** Se realizó un análisis de consistencia con el vector de los pesos locales de cada criterio y subcriterio. Para esto fue necesario calcular el Coeficiente de Consistencia (CR), el cual se calcula a través de la siguiente formula:

$$CR = \frac{IC}{IA} \quad (1)$$

Donde, IC es el índice de consistencia, el cual es cero cuando la matriz es totalmente consistente; y IA es el índice de consistencia aleatoria, el cual es un valor que cambia de acuerdo con el valor de n (número de filas de la matriz), que va de 1 a 9. En la siguiente tabla se muestra los índices de consistencia aleatoria de acuerdo con el valor n (Tabla 8):

*Tabla 8. Índice de consistencia aleatoria de acuerdo con el tamaño de la matriz.*

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IA	0	0	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,4	1,45

*Fuente: Tomado de (Saaty, 1990)*

La división de IC e IA da como resultado el Coeficiente de Consistencia, el cual se considera apropiado bajo un umbral de  $\leq 10\%$ . Cuando el índice de consistencia es cero, en matrices dos por dos no es necesario hallar el coeficiente de consistencia.

**Paso 6.** Finalmente se calculó los pesos globales de cada subcriterio, multiplicando el peso local del criterio por el peso local del subcriterio, para todos los casos.

De esta manera se obtuvieron los siguientes pesos por criterio y subcriterio para el modelo:

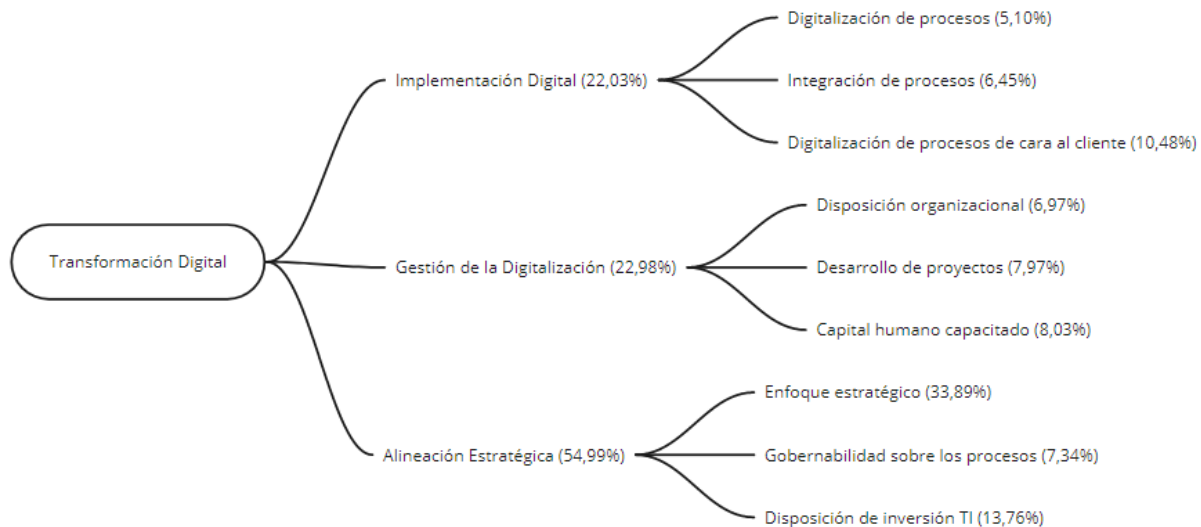


Figura 5. Pesos por criterios y subcriterios de transformación digital, para el modelo.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, los pesos para la clasificación de los subcriterios son:

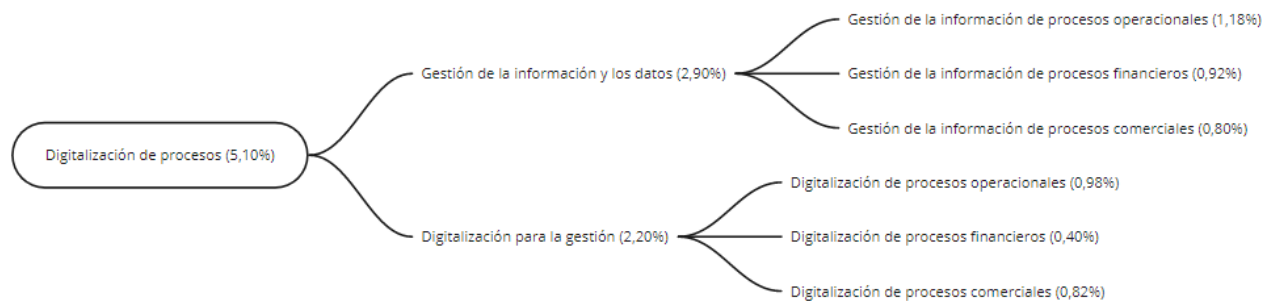
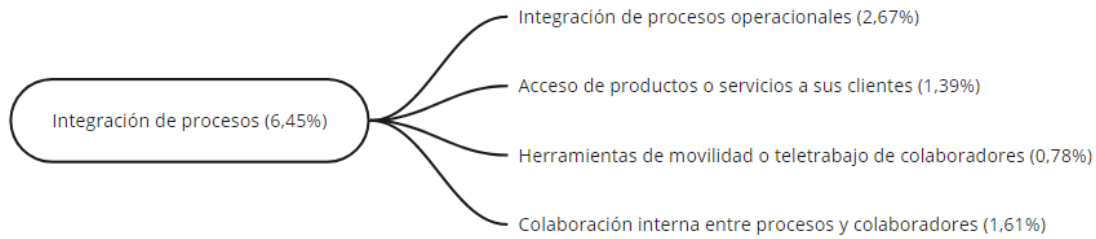


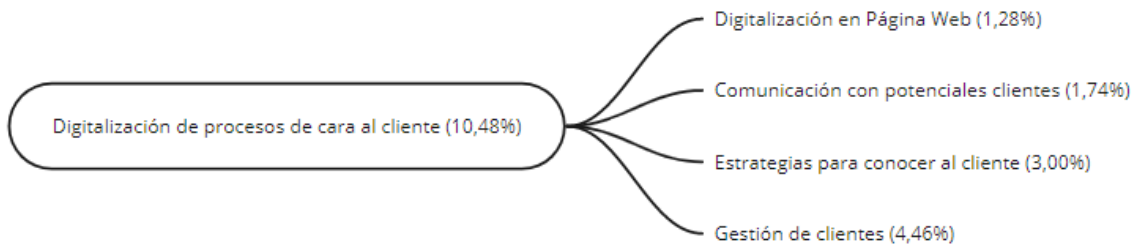
Figura 6. Clasificación de Digitalización de procesos con pesos.

Fuente: Elaboración propia.



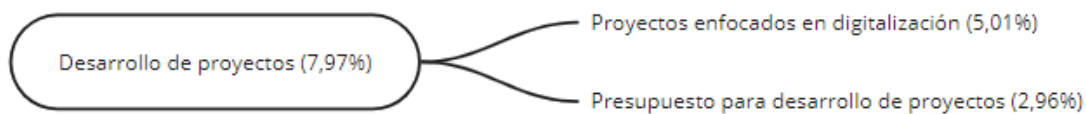
*Figura 7. Clasificación de Integración de procesos con pesos.*

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 8. Clasificación de Digitalización de procesos de cara al cliente con pesos.*

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 9. Clasificación de Enfoque en el desarrollo de proyectos con pesos.*

*Fuente: Elaboración propia.*





*Figura 10. Clasificación de Capital humano capacitado con pesos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **1.1.1. Prueba de toma de decisiones y laboratorio de evaluación (DEMATEL).**

DEMATEL es un método propuesto por (Fontela & Gabus, 1976), que busca analizar las relaciones causales entre factores de un modelo estructural, a través de un mapa de impacto-dígrafo; de esta manera se analiza la dependencia de un conjunto de criterios y subcriterios (Wu, 2008). Adicionalmente, el método permite calcular la fuerza de interdependencia (Tsai & Chou, 2009), por lo cual los criterios de medición se dividen en receptores y despachadores, para un mejor análisis de las relaciones causales.

Para el estudio desarrollado la herramienta ayudo a determinar la influencia causal de los factores y variables previamente identificados, lo cual fue base fundamental para la construcción del diagrama causal del sistema de Transformación digital.

A continuación, se describe paso a paso el desarrollo de este método en el presente estudio:

**Paso 1.** Se Construyó un instrumento (encuesta) con matrices para evaluar la relación directa entre criterios (factores) y subcriterios (variables o sub-factores), desarrollada por 4 expertos. Este instrumento consiste en la evaluación de la influencia o impacto directo de cada criterio y subcriterio sobre otro (relación causal), utilizando una escala de comparación de 5

niveles: 0 como “impacto no existente”, 1 como “impacto bajo”, 2 como “impacto medio”, 3 como “alto impacto”, y 4 como “impacto muy alto”. Con estas comparaciones, se genera una matriz media.

Con la media de las evaluaciones de cada criterio y subcriterio se construye la matriz de relación directa.

**Paso 2.** Las matrices de relación directa se normalizaron teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$M = K \times B \quad (2)$$

Donde B es el valor medio de las comparaciones de la matriz de relación directa, y k se calcula se la siguiente manera:

$$k = \min \left( \frac{1}{\max_{1 \leq i < n} \sum_{j=1}^n |b_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j < n} \sum_{i=1}^n |b_{ij}|} \right) i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3)$$

**Paso 3.** Se calculó la matriz de relación total, utilizando la siguiente ecuación, donde I es la matriz de identidad:

$$S = M + M^2 + M^3 + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} M^i = M(I - M)^{-1} \quad (4)$$

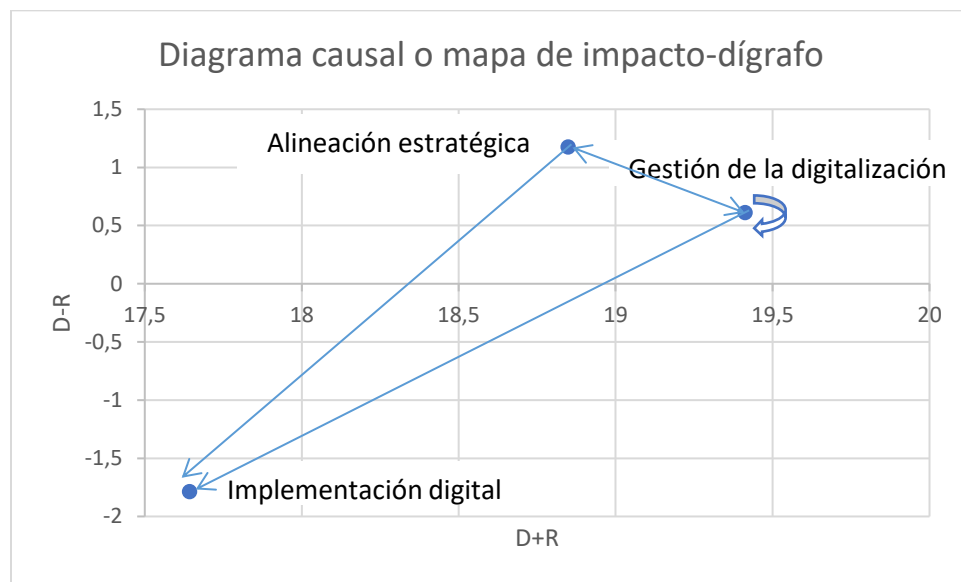
**Paso 4.** Luego con esta última matriz se determinan los valores de los vectores D y R, sumando las filas y columnas, respectivamente. Seguidamente se determinan los vectores de eje horizontal D+R, que muestra la importancia del criterio o el grado en que afecta o es afectado.

De igual manera, para el eje vertical se calcula D-R, dando información para clasificar los criterios en causas y efectos. Para este último caso, cuando el valor da positivo se interpreta que el criterio es una causa (despachador) o ejerce una influencia sobre otro, y cuando es negativo se trata de un efecto (receptor), o se trata de un criterio influenciado por otro.

**Paso 5.** Para la construcción del diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo, es necesario graficar los datos (D+R, D-R). Anteriormente, se calcula el valor umbral de la matriz de relación total, para determinar las interrelaciones significativas entre criterios y subcriterios. Por lo cual, este valor se compara con el grado de influencia de los criterios y subcriterios, y si el valor es mayor que el valor umbral, este se incluye en el diagrama.

De esta manera se obtuvieron los siguientes mapas de impacto-dígrafo o diagrama causal, por criterios y subcriterios.

### Criterios



*Figura 11. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de criterios.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En el diagrama anterior se puede observar la relación de los 3 criterios principales del modelo de acuerdo con la evaluación de los expertos. Las flechas determinan el efecto de causalidad o efecto de un factor sobre el otro, donde se puede observar que la Alineación

estratégica y la Gestión de la digitalización son despachadores hacia Implementación digital, teniendo este último solo un comportamiento de receptor. Por su parte, la relación entre la Alineación estratégica y la Gestión de la digitalización es de interdependencia, es decir, como receptor y despachador de uno sobre el otro. Adicionalmente, se observa una influencia del criterio Gestión de la digitalización sobre el mismo, mostrando que posiblemente este puede separarse en otros criterios, lo cual para futuras investigaciones es un aspecto importante para mejorar o tener en cuenta.

En cuanto al D+R, para los criterios despachadores se observa un grado de influencia significativa de 19,41 para Gestión de la digitalización y 18,45 para Alineación estratégica. En el caso de Implementación digital el valor es de 17,64, es decir, que tiene un alto grado de ser influenciado por los otros criterios.

### Subcriterios de Implementación digital

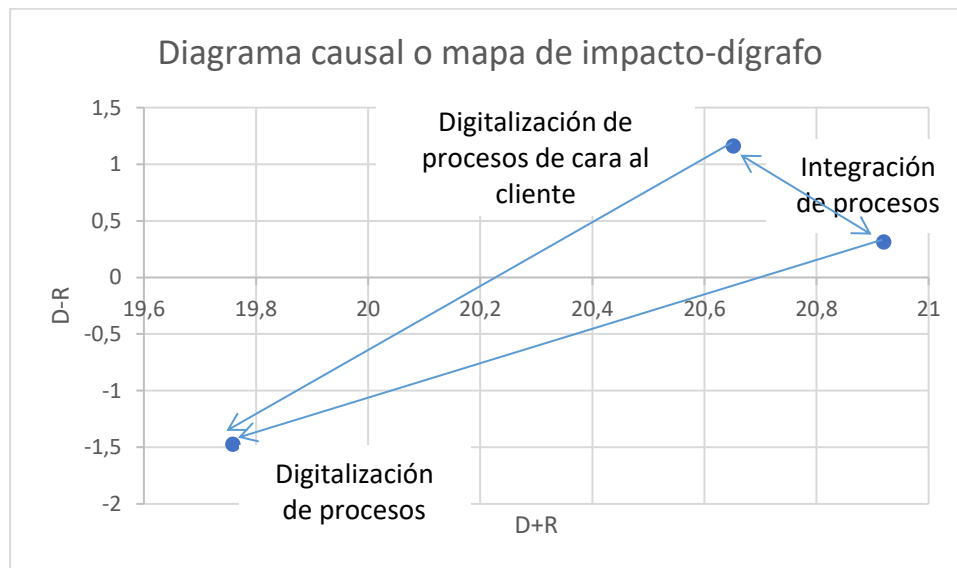


Figura 12. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de subcriterios de la implementación digital.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la evaluación de los expertos se puede observar que la Digitalización de procesos de cara al cliente y la Integración de procesos son despachadores hacia la Digitalización de procesos, teniendo este último solo un comportamiento de receptor. Además, se observa una relación bidireccional entre Digitalización de procesos de cara al cliente y la Integración de procesos, teniendo un comportamiento de causa y efecto.

En cuanto al D+R, para los criterios despachadores se observa un grado de influencia significativa de 20,92 para la Integración de procesos y 20,65 para Digitalización de procesos de cara al cliente. En el caso de Digitalización de procesos el valor es de 19,76, es decir, que tiene un alto grado de ser influenciado por los otros criterios.

#### Subcriterios de Gestión de la digitalización

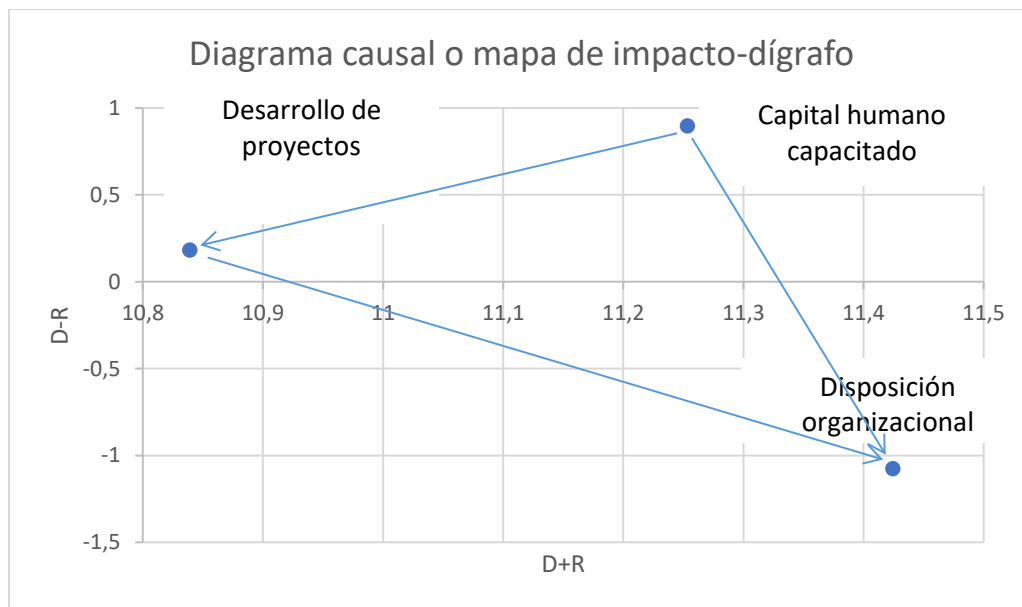


Figura 13. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de subcriterios de la gestión de la digitalización.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de los subcriterios de la gestión de la digitalización, los expertos determinaron que el subcriterio de Capital humano capacitado presenta solo un comportamiento de causa sobre los otros dos subcriterios; y el subcriterio de Desarrollo de proyectos es receptor del subcriterio de Capital humano capacitado y despachador del subcriterio de Disposición organizacional. Este último subcriterio tiene solo un comportamiento de efecto o receptor.

Por su parte, para los criterios despachadores se observa un D+R con un grado de influencia significativa de 10,84 para el Desarrollo de proyectos y 11,25 para Capital humano capacitado. En el caso de Disposición organizacional el valor es de 11,42, es decir, que tiene un alto grado de ser influenciado por los otros criterios.

#### Subcriterios de Alineación estratégica

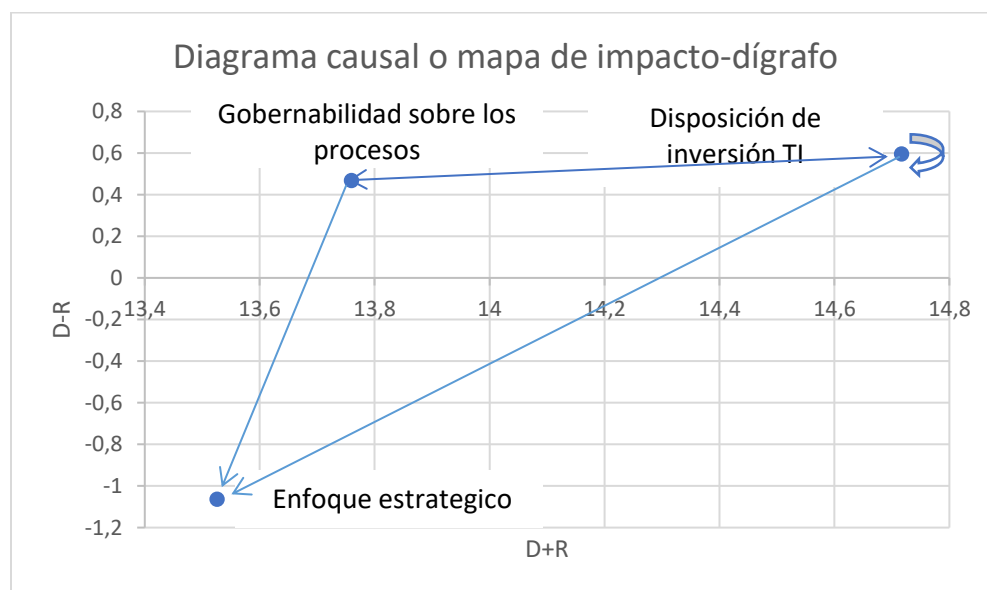


Figura 14. Diagrama causal o mapa de impacto-dígrafo de subcriterios de Alineación estratégica.

Fuente: Elaboración propia.

Para este caso de subcriterios los expertos determinaron que el Enfoque estratégico presenta solo un comportamiento de receptor de los otros dos subcriterios; Disposición de inversión en TI es receptor de Gobernabilidad sobre procesos y despachador hacia el subcriterio de Enfoque estratégico; y finalmente el subcriterio de Gobernabilidad sobre procesos tiene un comportamiento receptor de Disposición de inversión en TI y despachador hacia Enfoque estratégico. Adicionalmente, se observa una influencia del criterio Disposición de inversión TI sobre el mismo, mostrando que posiblemente este puede separarse en otros criterios, lo cual para futuras investigaciones es un aspecto importante para mejorar o tener en cuenta.

Por su parte, para los criterios despachadores se observa un D+R con un grado de influencia significativa de 13,76 para Gobernabilidad sobre los procesos y 14,72 para Disposición de inversión TI. En el caso de Enfoque estratégico el valor es de 13,53, es decir, que tiene un alto grado de ser influenciado por los otros criterios.

## **1.2. Diagnóstico del nivel de Transformación Digital en la Iniciativa Clúster Metalmecánico.**

El instrumento diagnóstico del Programa de Transformación Productiva (PTP) titulado “Nivel de Transformación Digital” (ANEXO 1), fue aplicado a las 25 empresas activas de la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico, y se obtuvo como resultado un nivel de transformación digital actual de 1,9 de una escala de 0 a 5. Para llegar a este resultado se estandarizaron las respuestas a una escala de Likert de 0 a 5, donde la respuesta que describe un menor uso de herramientas digitales esta representada con el valor cero y la respuesta con mayor uso e implementación de estas herramientas tiene una valoración de 5. De esta manera se obtuvo

los siguientes resultados de estado inicial de los factores y variables antes identificados (Tabla 9):

*Tabla 9. Diagnóstico de factores y sub-factores de Transformación digital.*

<b>Factor</b>	<b>Estado inicial</b>	<b>Variable</b>	<b>Estado inicial</b>
<b>Implementación digital</b>	2,2	Digitalización de procesos	2,7
		Integración de procesos	2,4
		Digitalización de procesos de cara al cliente	1,9
<b>Gestión de la digitalización</b>	3,1	Disposición Organizacional	4,3
		Desarrollo de proyectos	2,7
		Capital humano capacitado	2,5



---

<b>Alineación</b>	1,2	Enfoque	1,0
<b>estratégica</b>		estratégico	
		Gobernabilidad	1,9
		sobre los procesos	
		Disposición de	1,4
		inversión TI	

---

*Fuente: Elaboración propia.*

A nivel general, con estos resultados se puede inferir que existe una iniciativa base en el desarrollo de transformación digital. Además, se caracteriza una alta disposición organizacional en el desarrollo de estrategias digitales. Sin embargo, es importante resaltar la baja alineación estratégica que existe, lo cual da a entender que hay una intención, pero hace falta mejorar el enfoque para la alineación de factores. Con el modelo de dinámica de sistema se analizará el comportamiento del sistema en el tiempo, para un mejor análisis de los factores y variables mas importantes a desarrollar estratégicamente.

### **Modelación de la Transformación Digital para análisis de escenarios**

En la fase de modelación fue necesario desarrollar la hipótesis dinámica del sistema de estudio, basado en la construcción y análisis del diagrama causal; por medio del cual se revisó el comportamiento y las relaciones del sistema. Las bases del diagrama causal fueron la revisión de la literatura y los resultados obtenidos con la metodología Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), la cual se desarrolló en la fase 1 del proyecto. Los resultados de DEMATEL permitieron analizar las relaciones de interdependencia e influencia de factores y variables para la estructura del modelo.

Basado en el análisis del diagrama causal y los resultados obtenidos de la metodología de Analytic Hierarchy Process (AHP), se construyó el modelo de simulación identificando los niveles, flujos, variables y constantes del sistema. La metodología AHP ayudo a determinar los respectivos pesos de los factores y variables. Seguidamente, se validó el modelo utilizando pruebas de estructura, de comportamiento orientada a la estructura y de comportamiento, de acuerdo con lo que establece la metodología de dinámica de sistemas.

Con el modelo finalizado, se evaluó el modelo base y se analizaron los escenarios relacionados con acciones estratégicas a enfocar para la mejora del nivel de transformación digital en la Iniciativa Clúster Metalmecánico.

### **Formulación de hipótesis dinámica: Transformación Digital**

De acuerdo con (Aracil & Gordillo, 1997) un sistema es un conjunto de partes entre las cuales se establece una relación que articula el mismo. Estas partes e interacción conforman el

sistema, y mantienen su identidad a lo largo del tiempo y bajo condiciones de cambio. La naturaleza estructural de un sistema se representa a través de un diagrama causal o diagrama de influencia, el cual está conformado por ciclos de realimentación positivos y negativos (Aracil, 1995; Pineda Ballesteros, 2009; Sterman, 2000b). (Sterman, 2000b) describe los ciclos positivos como ciclos de refuerzo, es decir, cuando el cambio de la variable de origen genera una causa en la variable de llegada en la misma dirección; en cuanto a los ciclos negativos se trata del cambio de la variable de llegada que genera un efecto opuesto en la variable de origen, generando un ciclo de balance.

Para este estudio se realizó la hipótesis dinámica a partir de los resultados y análisis de interdependencia obtenidos en la metodología DEMATEL y la revisión bibliográfica previa de factores y sub-factores definidos, y elementos externos. En este sentido, se construyó la estructura del sistema en torno al Nivel de Transformación digital a través de un Diagrama Causal; el cual se basa en la interacción de sus factores: Alineación estratégica, Gestión de la digitalización e Implementación digital. Adicionalmente, se consideraron 3 niveles adicionales por cada factor de acuerdo con estudio previo, y unas variables externas adicionales. En el diagrama podemos observar un dominio de ciclos positivos o de refuerzo, y unas pocas intervenciones negativas que forman 3 ciclos de balance. La construcción de este Diagrama Causal se llevó a cabo en el Software de simulación Vensim PLE®.

De esta manera, se formula la siguiente hipótesis dinámica:

**H0:** El fortalecimiento o mejora de los factores de Alineación estratégica, Gestión de la digitalización e Implementación digital, aumenta el nivel de Transformación Digital.

## Análisis y resultados.

El diagrama propuesto se representa en la figura 15, el cual está compuesto por factores, sub-factores y variables exógenas. Las relaciones de color azul representan aquellas dadas entre factores y sub-factores del sistema, y las de color rojo representan las relaciones de variables exógenas o variables que no pueden ser del todo controlables en el sistema. Se esta manera se forman 14 ciclos de refuerzo y 3 de balance.

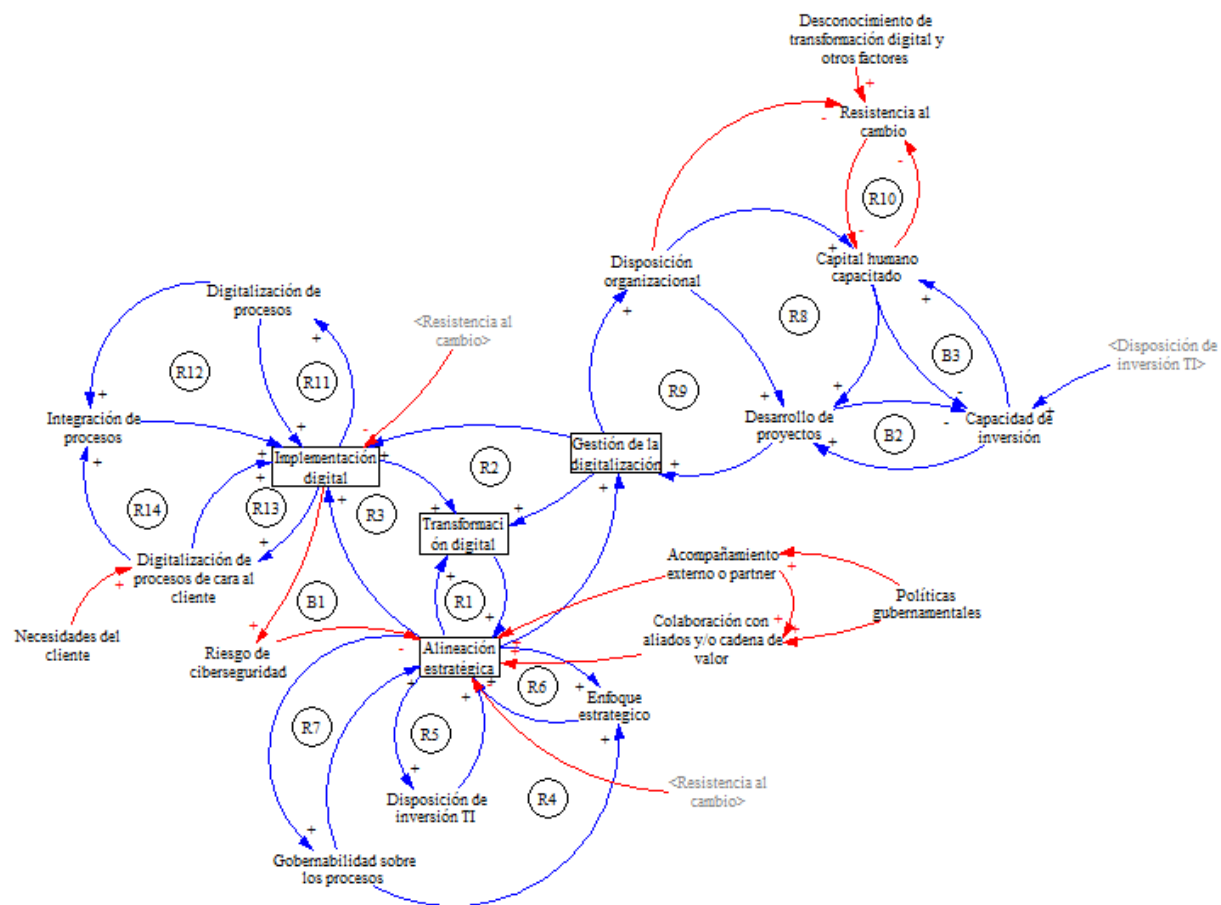


Figura 15. Diagrama Causal del Nivel de Transformación Digital.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Vensim PLE®.

En el diagrama causal de la figura 16, se muestran las relaciones de los factores de transformación digital y unas externalidades, donde el nivel de transformación digital parte del ciclo de refuerzo R1, el cual establece que un aumento de la alineación estratégica incrementará la transformación digital, teniendo en cuenta que, de acuerdo con los resultados de estudio y la bibliografía, parte fundamental de una adecuada transformación se debe a la definición de una estrategia desde la gerencia o adaptar la transformación digital como una estrategia corporativa (Hansen & Sia, 2015; Henriette et al., 2016). Por su parte, el ciclo R2 parte de un aumento de la Alineación estratégica, que impacta positivamente la gestación de la digitalización y en consecución la implementación digital, lo cual ocasiona un aumento del nivel de transformación digital, y este refuerza la alineación estratégica. De igual forma, se observa que el factor Gestión de la digitalización afecta positivamente de forma directa a la Transformación digital. (Berman, 2012; Matt et al., 2015; Sahu et al., 2018)

El ciclo de refuerzo R3, se basa en que el aumento de la alineación estratégica ocasiona de forma directa un incremento de la implementación digital, como parte importante del desarrollo o materialización de la digitalización en una empresa, provocando un mayor nivel de transformación digital. (Heavin & Power, 2018; Van Veldhoven & Vanthienen, 2019)

En cuanto al ciclo B1, se trata de un ciclo de balance formado con una externalidad, la cual el Riesgo aumenta debido al incremento de la aplicación de nuevas tecnologías y a su vez este produce una disminución en la Alineación estratégica, disminuyendo la iniciativa de la empresa para emprender estrategias digitales, de esta forma afecta la transformación digital y disminuye la implementación. (Cano, 2018; Schwertner, 2017)

Adicionalmente, en esta figura se observa la externalidad de Políticas gubernamentales, la cual estimula el Acompañamiento de una entidad externa o partner digital y la colaboración

con aliados y/o cadena de valor, lo cual impacta a una mayor y mejor alineación estratégica enfocada en aprovechar estas condiciones para una mayor transformación digital. El papel del estado es un aspecto importante en este contexto debido a que se trata de un catalizador en los procesos de implementación de tecnología para generar ventajas competitivas. Es importante que exista una colaboración entre las empresas, la academia y el estado, para gestionar un crecimiento de la economía regional (Batz et al., 2018; Götz & Jankowska, 2017; Kireeva & Tsoi, 2018; Park, 2017; Pérez González et al., 2018; Wang, Wan, et al., 2016; Ynzunza Cortés et al., 2017).

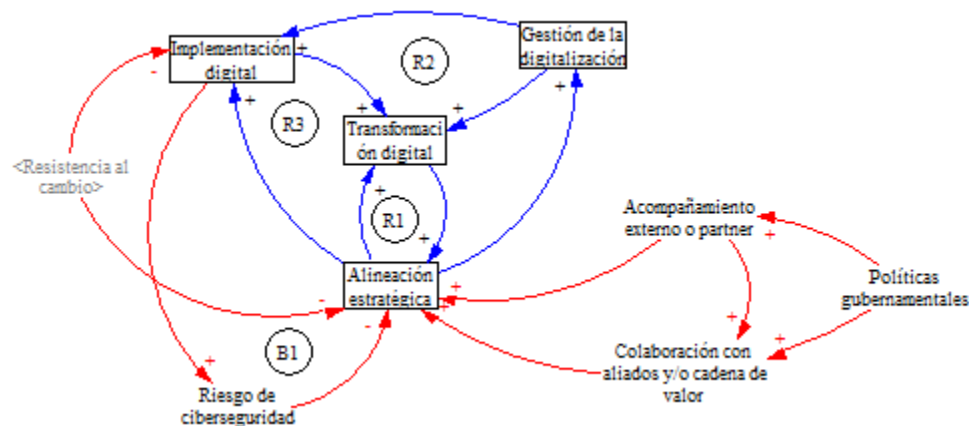


Figura 16. Ciclos R1, R2 R3 y B1, relación de factores directamente influyentes en el Nivel de Transformación Digital.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Vensim PLE®.

En la figura 17 se puede observar la formación de 4 ciclos de refuerzo, que son R4, R5, R6 y R7. Para el caso de R4 se describe la relación positiva de los factores de Alineación estratégica, Gobernabilidad sobre los proceso y enfoque estratégico, donde la lógica operacional del ciclo se base en que una adecuada alineación estratégica produce un alto dominio de la empresa para la consecución de objetivos, lo cual a su vez genera un mayor enfoque en los

procesos que lleva (Azhari et al., 2014; Sahu et al., 2018). El ciclo R5 describe que una mayor alienación estratégica se ve reflejado en una mayor Disposición de inversión tecnológica, lo cual permite un aumento de la alienación de la organización hacia la consecución de objetivos digitales (Ochoa, 2016b). Para el caso del ciclo R6, se muestra la relación bidireccional entre la Alienación estratégica y el Enfoque estratégico, teniendo en cuenta que entre mayor sea el enfoque y disposición a la creación de capacidades internas para llevar a cabo procesos de transformación digital, mayor será el enfoque de las estrategias para la consecución de los objetivos digitales, y a su vez este enfoque permite que haya una mejor alienación en los procesos (Heavin & Power, 2018; Henriette et al., 2016). El ciclo R7 refleja de igual manera una relación bidireccional entre la Gobernabilidad de los procesos y la Alienación estratégica, siendo esta ultima la que activa el dominio o control de procesos internos para la consecución de objetivos, y entre mayor sea el grado de control de esos procesos, mayor será la alienación de la estrategia y por consecuencia se tendrán mejores resultados (Sahu et al., 2018).

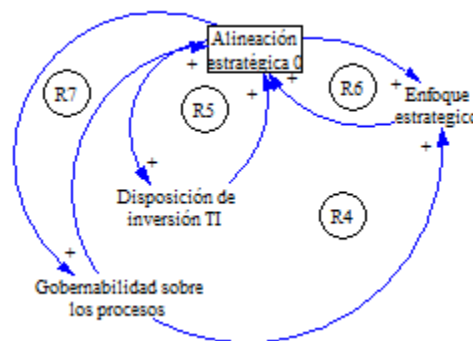


Figura 17. Ciclos R4, R5, R6 y R7, relación de sub-factores influyentes en la Alineación estratégica.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Vensim PLE®.

En torno al factor de Gestión de la digitalización que se observa en la figura 18, se encuentran los ciclos R8, R9, R10, B2 y B3. En primera instancia, el ciclo R8 refleja que una alta

disposición a nivel organizacional hacia el cambio e implementación de iniciativas digitales (cultura digital) ocasiona un aumento en las medidas de personal disponible y capacitado, permitiendo de esta forma un mayor desarrollo de actividades o proyectos para la adopción de la transformación digital (Braga Tadeu et al., 2019; Ochoa, 2016a), por lo cual se aumenta la gestión de la digitalización y este impacta a una mayor Disposición organizacional. A su vez, en el ciclo R9 se observa que existe un refuerzo directo de la Gestión de la digitalización a través de la Disposición en la implementación y el Desarrollo de proyectos, donde una mayor disposición empresarial permitirá un mayor desarrollo de actividades hacia la digitalización para incrementar la gestión de la digitalización, lo que se ve reflejado en la mejora de las capacidades (Ochoa, 2016a; Valdez-de-Leon, 2016).

En el caso del ciclo R10, se observa la influencia de la variable externa Resistencia al cambio, la cual es estimulada por el desconocimiento a los beneficios que trae la transformación digital y a otros factores como el miedo a lo nuevo, los hábitos, el apego a lo conocido, tendencia a la estabilidad, entre otros (Escudero et al., 2014). Esta variable afecta de forma negativa el Capital humano capacitado, pero a su vez una buena estrategia de capacitación del personal y entrenamiento contrarresta la resistencia al cambio, al igual que una buena disposición a la implementación a nivel organizacional (García & Rangel, 2001).

Para el caso de los ciclos de balance B2 y B3, la variable Capacidad de inversión es estimulada por la Disposición de inversión en TI que se genera a nivel estratégico, este aumento permite que haya un mayor personal capacitado y entrenado hacia los cambios de la transformación digital, y un mayor desarrollo de proyectos de este tipo. Sin embargo, para que haya un despliegue de actividades en torno a la adaptación tecnológica es necesario contar con una capacidad de inversión, el cual es limitada teniendo en cuenta la disponibilidad de inversión



(EFI–Expertenkommission Forschung und Innovation, 2016; Ochoa, 2016b), por lo cual se observa que entre mayor es el Capital humano capacitado y desarrollo de proyectos, esta capacidad va a disminuir.

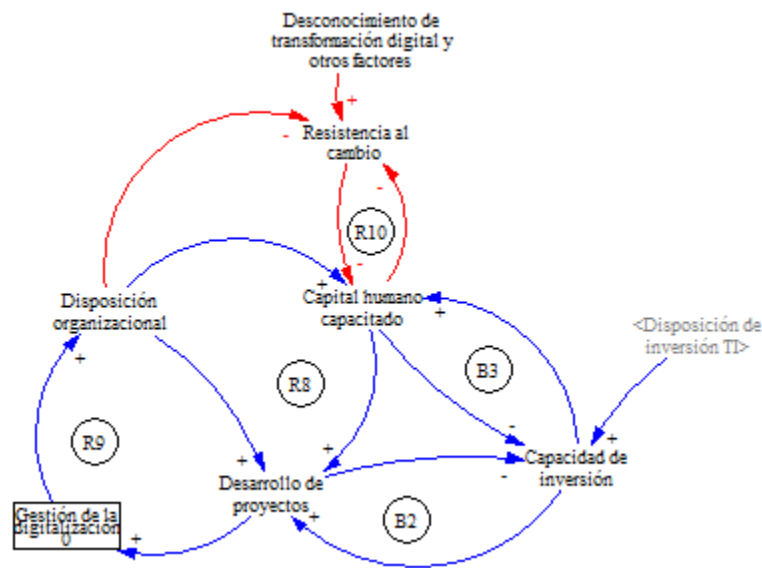


Figura 18. Ciclos R8, R9, R10, B2 y B3, relación de sub-factores influyentes en la Gestión de la digitalización.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Vensim PLE®.

Finalmente, están los ciclos R11, R12, R13 y R14 en torno al factor de Implementación digital en la figura 19. Los ciclos de refuerzo R11 y R13 se forman del supuesto de relación entre los sub-factores de Digitalización de procesos y Digitalización de procesos de cara al cliente, con Implementación digital de forma independiente, teniendo en cuenta que este factor se materializa al digitalizar los procesos internos y de cara al cliente (Berghaus & Back, 2016; Braga Tadeu et al., 2019). En el caso de los ciclos R12 y R14, se forman con la adición del sub-factor de Integración de procesos, el cual es aumentado por los factores de Digitalización de procesos y Digitalización de procesos de cara al cliente por cada uno de los ciclos, donde finalmente una

mayor integración de los procesos internos o externos produce mejores resultados para la implementación digital (Berghaus & Back, 2016; Sahu et al., 2018; Schumann et al., 2017).

En esta última figura también se observa la externalidad Necesidades del cliente, la cual influye de forma positiva la Digitalización de cara al cliente, teniendo en cuenta que muchos de estos procesos se hacen para mejorar la experiencia con el cliente (Henriette et al., 2016; Morakanyane et al., 2017).

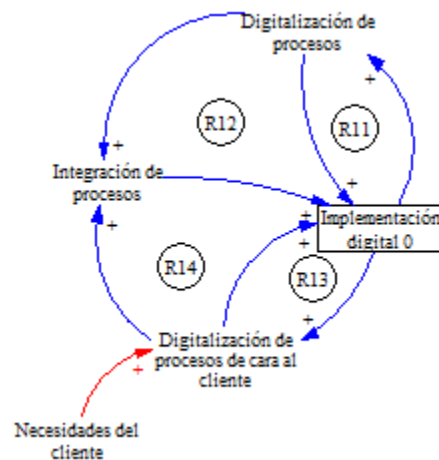


Figura 19. Ciclos R11, R12, R13 y R14, relación de sub-factores influyentes en la Implementación digital.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Vensim PLE®.

### Formulación del modelo de simulación: diagram de flujos y niveles




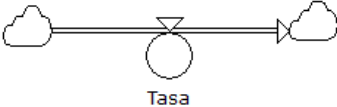
El diagrama causal de la sección anterior representa el modelo mental del sistema de Transformación digital, mostrando las interdependencias y procesos de retroalimentación. Sin embargo, dicha estructura no captura el estado de las variables dentro del sistema a diferencia del







diagrama de flujos y niveles, analizando las interacciones y la acumulación de información de tal manera que le da memoria al modelo y permite un mejor análisis. (Sterman, 2000b)

Este diagrama o diagrama de Forrester, está compuesto por flujos, niveles, parámetros y variables auxiliares, que se relacionan a través de conectores, y permiten construir ecuaciones diferenciales que definen estas relaciones (Forrester, 1961).

Para la construcción del diagrama de flujos y niveles, fue necesario definir la participación de cada una de las variables analizadas en el diagrama causal dentro del Sistema de Transformación Digital, por lo cual se revisó el comportamiento de cada una de estas y se representó el diagrama teniendo en cuenta los siguientes símbolos del diagrama de Forrester (Tabla 10):

Tabla 10. Símbolos utilizados en el modelo.

Nombre	Símbolo del diagrama de Forrester	Símbolo en software Powersim	Descripción
Estado o nivel		 Nivel	Acumulación de flujo que muestra el estado del sistema.
Flujo		 Tasa	Representa la variación de un nivel o el cambio de estado en el sistema.

<b>Variable auxiliar</b>			Cantidad con un significado matemático.
<b>Constante</b>			Elemento que no cambia de valor dentro del modelo.
<b>Canal</b>			Canal de transmisión de información.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Aracil & Gordillo, (1997).*

Seguidamente, se definieron los siguientes supuestos para el análisis adecuado del sistema:

- El horizonte de tiempo de la simulación se plantea en 20 años. En este sentido el periodo de la simulación es de 2020 – 2040.
- El paso de tiempo de la simulación es de 1 año.
- Las empresas que participaron en el diagnóstico hacen parte de la Iniciativa Clúster metalmecánica del Atlántico para la fecha del diagnóstico (2019). Además, las empresas no se encuentran discriminadas por su eslabón dentro del sector, todas hacen parte del mismo sistema de Transformación digital.
- El punto de partida del modelo se basa en el diagnóstico realizado con una herramienta construida y validada por el Programa de Transformación Productiva (PTP). Este diagnóstico este dado por unos niveles o escala de valoración del 0 al 5, siendo 0 el valor mas bajo y 5 el valor mas alto de la variable a evaluar. El nivel se calcula con el promedio de las respuestas de todas las empresas que participaron.

- Se tomo un tiempo de desarrollo estratégico de 3 años, en el cual se lleva a cabo las actividades, proyectos y se ejecutan recursos para la transformación digital.
- El software utilizado es Powersim Studio 10 ®, versión estudiante.

Por su parte, se definieron las constantes del modelo acorde con el instrumento diagnóstico y la literatura, los cuales se relacionan en las tablas 11, 12, 13 y 14; y se construyeron las ecuaciones de las variables que componen la Transformación digital.

*Tabla 11. Constantes del nivel de Implementación digital.*

Constantes	Definición	Valor	Fuente/Referente
<b>Digitalización de procesos</b>	Consiste en la aplicación de iniciativas tecnológicas para la gestión de la información, y el uso de mecanismos para la automatización de procesos para la gestión de recursos.	2,7	Valor inicial calculado con el instrumento diagnóstico Programa de Transformación Productiva (PTP)
<b>Integración de procesos</b>	Integración de los procesos para generar colaboración y articulación con colaboradores y con el cliente.	2,4	
<b>Digitalización de procesos de cara al cliente</b>	Gestión de clientes a través de la articulación y comunicación con la empresa.	1,9	

<b>Influencia Digitalización procesos</b>	Valor de influencia de la digitalización de procesos en la implementación digital.	23%	Calculado con AHP
<b>Influencia integración</b>	Valor de influencia de la integración de procesos en la implementación digital.	29%	
<b>Influencia procesos de cara al cliente</b>	Valor de influencia de los procesos de cara al cliente en la implementación digital.	48%	
<b>Tiempo de implementación</b>	Tiempo de la implementación de tecnologías para el cumplimiento de la estrategia digital.	3 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.
<b>Riesgo de falla del sistema</b>	Riesgo de que el sistema tecnológico falle.	3,8%	(World Economic Forum, 2018)
<b>Riesgo de Ciber ataques</b>	Riesgo de que haya algún hackeo en la información.	4%	(World Economic Forum, 2018)

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 12. Constantes del nivel de Gestión de la digitalización.

Constantes	Definición	Valor	Fuente/Referente
<b>Disposición organizacional</b>	Disposición de una empresa para la implementación de actividades o estrategias digitales.	4,3	Valor inicial calculado con el instrumento diagnóstico Programa de
<b>Desarrollo de proyectos</b>	Enfoque o estado de la empresa en el desarrollo de proyectos encaminados a la digitalización, y alineado a una estrategia.	2,7	Transformación Productiva (PTP)
<b>Capital humano capacitado</b>	Personal para actividades de digitalización y que cuente con la preparación hacia capacidades digitales.	2,5	
<b>Influencia Disposición</b>	Valor de influencia de disposición organizacional en la gestión de la digitalización.	30%	Calculado con AHP
<b>Influencia proyectos</b>	Valor de influencia del desarrollo de proyectos en la gestión de la digitalización.	35%	

<b>Influencia</b>	Valor de influencia del capital humano	35%	
<b>Capital</b>	capacitado en la gestión de la digitalización.		
<b>Resistencia al cambio</b>	Resistencia al cambio tecnológico en las organizaciones.	30%	(García & Rangel, 2001)
<b>Tasa de proyectos terminados a tiempo</b>	Porcentaje de proyectos que terminan dentro de los tiempos proyectados.	32%	(Mosquera Ramírez et al., 2013)
<b>Tasa de proyectos fuera de tiempos</b>	Porcentaje de proyectos que no cumplieron los plazos de tiempo, costo y alcance.	43%	(Mosquera Ramírez et al., 2013)
<b>Tasa de proyectos no terminados</b>	Porcentaje de proyectos que no terminan, debido a que son cancelados y se consideran perdidas.	25%	(Mosquera Ramírez et al., 2013)
<b>Tiempo de proyectos</b>	Duración en el desarrollo de proyectos para el cumplimiento de la estrategia digital de manera oportuna.	2 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.
<b>Tiempo de prorroga</b>	Duración adicional del desarrollo de proyectos para el cumplimiento de la estrategia digital.	1 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.



<b>Tiempo de salida de proyectos</b>	Duración en el desarrollo de proyectos para el cumplimiento de la estrategia digital.	3 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.
--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	--------	-----------------------------------------------------------

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 13. Constantes del nivel de Alineación estratégica.

Constantes	Definición	Valor	Fuente/Referente
<b>Enfoque estratégico</b>	Determina la importancia de los procesos o enfoque estratégico de la empresa acorde a los procesos que lleva y el objetivo de la empresa.	1	Valor inicial calculado con el instrumento diagnóstico Programa de
<b>Gobernabilidad sobre los procesos</b>	Grado de control o dominio que la empresa tiene en la consecución de objetivos digitales.	1,9	Transformación Productiva (PTP)
<b>Disposición de inversión TI</b>	Disposición para invertir en soluciones tecnológicas a corto plazo.	1,4	
<b>Influencia enfoque</b>	Valor de influencia de enfoque estratégico en la alineación estratégica.	62%	Calculado con AHP

<b>Influencia</b>	Valor de influencia de la gobernabilidad de	13%	
<b>Gobernabilidad</b>	procesos en la alineación estratégica.		
<b>Influencia</b>	Valor de influencia de la disposición de	25%	
<b>Disposición de inversión</b>	inversión en la alineación estratégica.		
<b>Previsión de crecimiento</b>	Crecimiento anual que se prevé puede darse en un modelo de transformación digital o Industria 4.0, tomando como referente un modelo de industria digitalizada europea.	1,4%	(MetaIndustry4, 2016)
<b>Tiempo de consolidación de la estrategia</b>	Duración de la consolidación de la estrategia desde la dirección hasta todas las partes de la organización.	1 años	Tiempo referente de la consolidación inicial de la estrategia digital.
<b>Tiempo de estrategia</b>	Duración de la estrategia digital proyectada.	3 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 14. Constante del nivel de Transformación Digital.

Constantes	Definición	Valor	Fuente/Referente
<b>Alineación estratégica</b>	Enfoque estratégico y disposición al desarrollo digital a partir de la creación de capacidades internas necesarias y la gobernabilidad de proceso en su modelo de negocio.	1,2	Valor inicial calculado con el instrumento diagnóstico Programa de Transformación
<b>Gestión de la digitalización</b>	Desarrollo de capacidades internas necesarias para transformar digitalmente y de manera integral toda la organización, enfocado a entender la disposición de la empresa para alinear su modelo de negocio con la tecnología incorporada o a incorporar.	3,1	Productiva (PTP)
<b>Implementación digital</b>	Inversión o esfuerzo en iniciativas tecnológicas para cambiar la gestión en los procesos de la empresa.	2,2	
<b>Influencia de alineación</b>	Valor de influencia de la alineación estratégica en la Transformación digital.	55%	Calculado con AHP

<b>Influencia de gestión</b>	Valor de influencia de la gestión de la digitalización en la Transformación digital.	23%	
<b>Influencia de implementación</b>	Valor de influencia de la implementación digital en la Transformación digital.	22%	
<b>Tiempo de adopción</b>	Duración de la adopción de estrategias, proyectos y tecnologías para el cumplimiento de la estrategia digital.	3 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.
<b>Obsolescencia digital</b>	Tiempo en que se va a desgastar las acciones digitales.	3 años	Tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital.
<b>Procesos de transformación no exitosos</b>	Porcentaje de proceso de transformación digital que no tienen éxito o no consiguen el resultado que se espera.	60%	(Casado González, 2017)

*Fuente: Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta esta información se construyo el diagrama de flujos y niveles para el modelamiento del sistema, donde tres niveles alimentan el nivel de la Transformación Digital. A continuación, se detalla un análisis de los flujos de entrada y salida de cada uno de estos niveles, y finalmente se analiza el comportamiento de la Transformación digital.

En la Figuta 20 se observa el esquema de modelamiento de la Alineación estartégica, donde el flujo de entrada (tasa de alienación) parte de un enfoque estrategico, una disposición de

inversión en TI y una gobernabilidad de los procesos; cada una con una participación o influencia determinada por la herramienta AHP. Adicionalmente, hay un mecanismo de alimentación que empuja el desarrollo de estas iniciativas a través de la Disposición de inversión en TI, y se trata de la transformación digital, debido a que los buenos resultados son la base de la confianza para la inversión en nuevas tecnologías. El flujo de entrada de Alineación estratégica se encuentra retardada a 1 año, el cual es el tiempo de la consolidación de la estrategia desde la dirección hasta todas las partes de la organización. En cuanto al flujo de salida, se encuentra dado por la tasa de resistencia al cambio en un tiempo referente del desarrollo de la estrategia digital; siendo la resistencia al cambio una de las barreras de la Transformación digital, motivada por el miedo a lo nuevo, los hábitos, el apego a lo conocido, tendencia a la estabilidad, entre otros factores (Escudero et al., 2014).

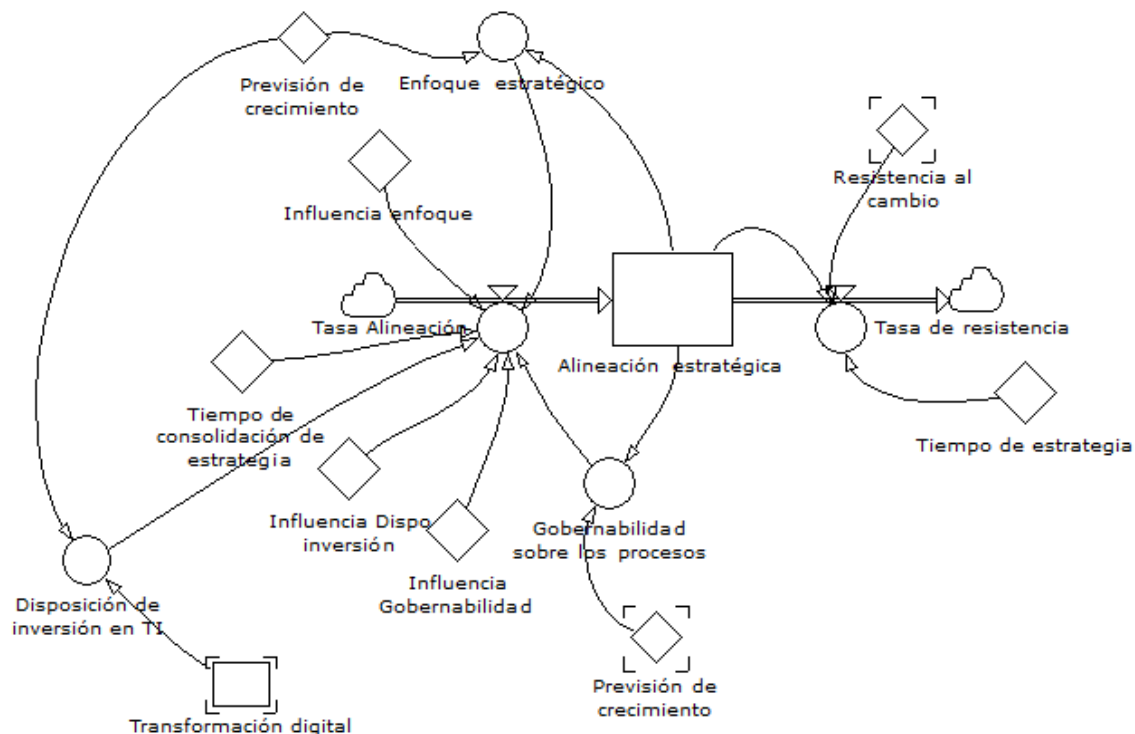


Figura 20. Modelamiento Alineación estratégica. Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

Con relación al modelamiento de la Gestión de la Digitalización, en la Figura 21 se observa las relaciones de las variables, los flujos de entrada y de salida, donde la tasa de entrada esta dada por el desarrollo de los proyectos terminados a tiempo, terminados fuera de tiempo y los no terminados (Mosquera Ramírez et al., 2013); este ultimo haciendo referencia a la tasa de salida de proyectos no ejecutados. Es importante tener presente que esta tasa de gestión se encuentra impulsada por una capacidad de inversión limitada, que es dada por la disposición de inversión de TI (EFI–Expertenkommission Forschung und Innovation, 2016; Ochoa, 2016b). Por su parte, el Desarrollo de proyectos se encuentra impulsado por el Capital humano capacitado y la Disposición organizacional; donde la influencia de intervención de cada variable fue calculada con la herramienta AHP. Adicionalmente, la Disposición esta influenciado por la Alineación estrategica, y la resistencia al cambio ejerce una acción negativa sobre el avance de la variable de Capital humano capacitado. El retaro del nivel esta dado por el tiempo de desarrollo de los proyectos de digitalización, que puede ser a tiempo o con prorroga.

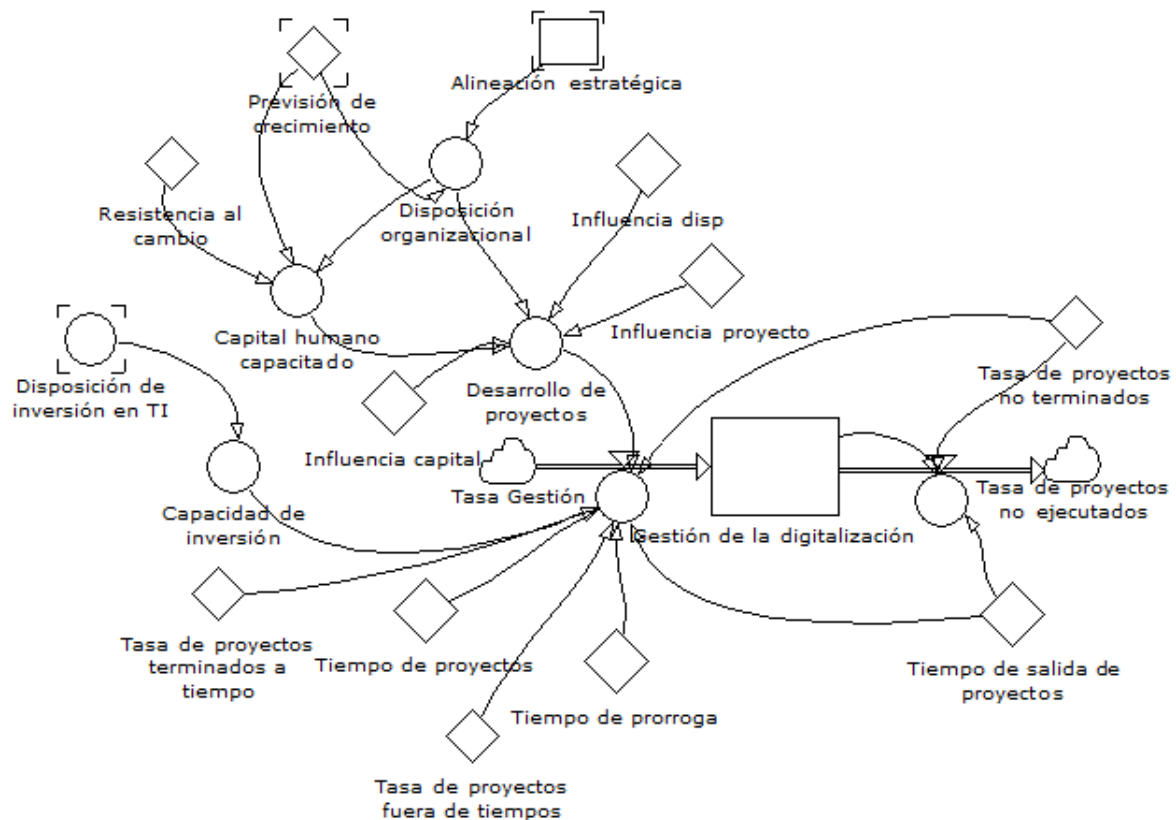


Figura 21. Modelamiento Gestión de la digitalización.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

El nivel de Transformación digital está modelado por un flujo de entrada (tasa de implementación) que se encuentra influenciado principalmente por la Integración de procesos y de forma indirecta por la Digitalización de procesos y Digitalización de procesos de cara al cliente, debido a que estas últimas se relacionan en la Integración; los valores de estas influencias fueron calculados con la herramienta de AHP. Adicional a estas variables, se observa una influencia de la Gestión de la digitalización y la Alineación estratégica sobre la tasa de implementación, siendo estos niveles los impulsores del desarrollo de actividades digitales para su puesta en marcha. Por su parte, el flujo de salida está dado por la tasa de riesgos, donde se

integran los riesgos por falla del sistema, riesgo de ciber ataque (World Economic Forum, 2018) y resistencia al cambio. Ambos flujos, tanto de entrada como de salida, se encuentran retardados por un tiempo de implementación de 3 años, que es el mismo estipulado para la estrategia y su desarrollo. En la Figura 22 se presenta el diagrama del modelamiento del nivel de Implementación Digital.

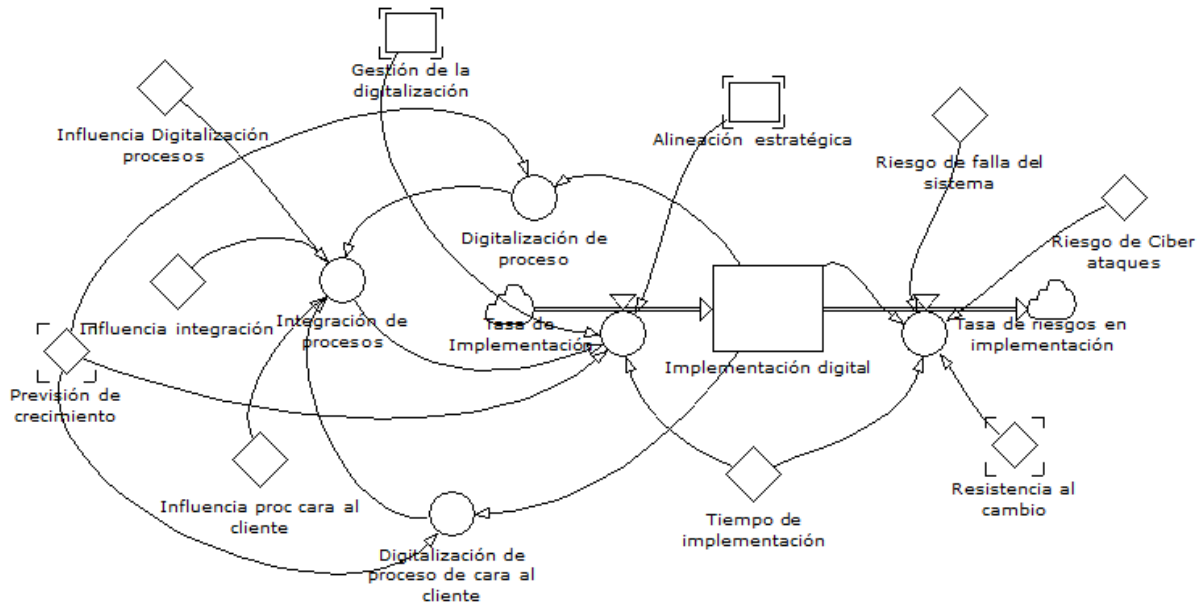


Figura 22. Modelamiento Implementación digital.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

Finalmente, la Transformación digital se encuentra alimentada (tasa de Transformación digital) por los niveles de Alineación estratégica, Gestión de la digitalización e Implementación digital, donde los valores de influencia fueron calculados con la herramienta AHP. En cuanto al flujo de salida se observa una Tasa de no éxitos, la cual representa el porcentaje de procesos de transformación digital que no tienen éxito o el impacto esperado (Casado González, 2017).

Adicionalmente, se observa un retardo en el flujo de entrada dado por el tiempo de adopción de



todas las estrategias e iniciativas para la Transformación Digital, y un retardo en la tasa de salida sobre la obsolescencia digital, que es el tiempo en que se van a desgastar las acciones digitales.

En la Figura 23 se presenta el diagrama del modelamiento de este nivel.

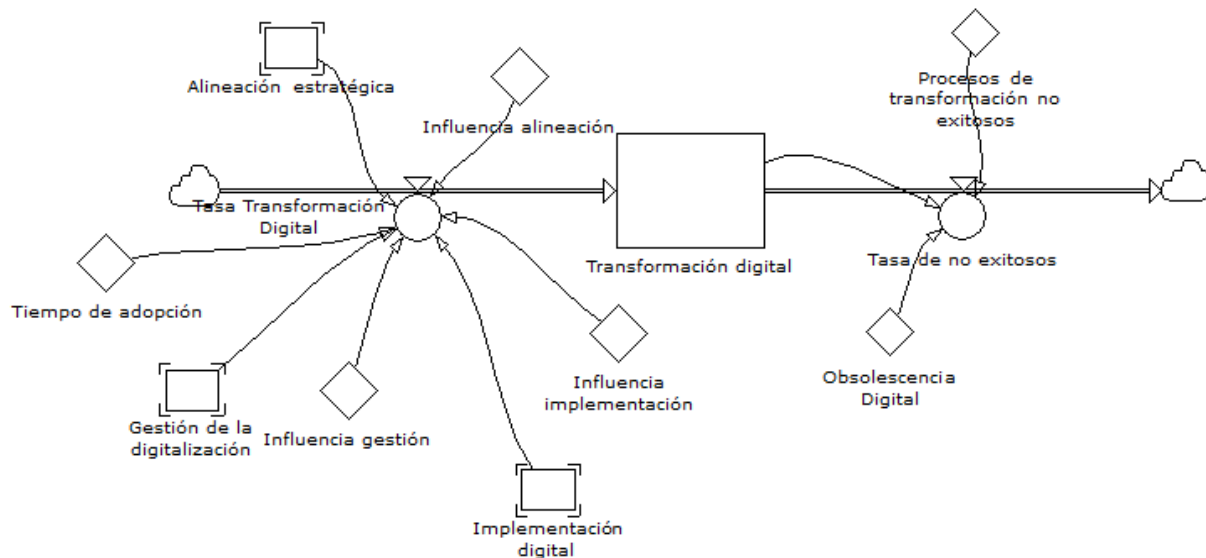


Figura 23. Modelamiento de Transformación digital.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

El diagrama de flujos y niveles de la Transformación Digital contiene los factores expuestos en la hipótesis dinámica, para conocer la importancia de cada uno de estos sobre la Transformación digital. Para comprobar que el modelo presenta una estructura consistente se someterá a pruebas de validación para evaluar la estructura y el comportamiento.

### Validación del modelo de simulación

Barlas (1996) propone que los modelos de Dinámica de Sistemas deben ser validados a través de pruebas de estructura y comportamiento, debido a que tienen una naturaleza causales-descriptivos. Las tres etapas principales de validación son: Pruebas de estructura, Pruebas de

comportamiento orientado a la estructura y Pruebas de patron de comportamiento. A continuación, de detalla el objetivo de cada prueba y los resultados para el modelo propuesto.

### **Pruebas de estructura.**

Las pruebas de estructura consisten en comparar la estructura del modelo con el sistema real; en este caso, se basa en todas las actividades relacionadas con conocer y fundamentar la estructura de la Transformación Digital, desde la revisión de la literatura, el diagnóstico con los empresarios, y las entrevistas con expertos académicos y del sector para la aplicación de las herramientas de AHP y DEMATEL.

Con la revisión de la literatura se construyeron las bases del modelo, conociendo los factores y variables que descomponen la transformación digital, además las relaciones y barreras de este fenómeno. Esta caracterización permitió conocer las variables de entrada y de salida del sistema, parámetros y el comportamiento de las relaciones. El instrumento diagnóstico muestra la deficiencia que tienen las empresas en asumir una estrategia para transformación digital y como esta es importante para la consecución del avance de los demás factores. Además, permitió conocer el estado base las variables del modelo. Como no se encontro un claro punto de partida del sistema, la revisión y el diagnóstico, fueron parte clave para la formulación de la estructura del modelo, al igual que las entrevistas con expertos académicos y del sector para la aplicación de las herramientas de AHP y DEMATEL, que permitió conocer la importancia de cada variable, su influencia, y las relaciones de influencia entre ellas.

Finalmente, dentro de esta validación se realizó una prueba de consistencia dimensional, la cual permitió verificar unidades dentro de las variables del sistema, teniendo en cuenta las relaciones de influencia.

### **Pruebas de comportamiento orientado a la estructura.**

Las pruebas de comportamiento orientadas a la estructura evalúan la consistencia entre el sistema simulado y el real, a través de relaciones establecidas en el modelo a partir de cambios en la estructura. Dentro de esta validación se realizan pruebas de condiciones extremas para observar el comportamiento del modelo en estos escenarios, donde los resultados deben coincidir con una lógica operacional del comportamiento del sistema real, basado en el análisis de los resultados de las ecuaciones del modelo.

Para el caso en estudio se hicieron cuatro pruebas para validar la estructura a partir del comportamiento del modelo y estas fueron: Variables de entrada cero con valores de nivel en cero, Variables de entrada cero con estado actual en nivel, Disposición de inversión en cero, y Enfoque estratégico en cero. Con estas condiciones se evalúa el comportamiento del modelo en cada caso.

La prueba de Variables de entrada cero con valores de nivel en cero permite ver el comportamiento de salida del sistema, donde se espera que el modelo se comporte de forma lineal en cero, debido a que el nivel está vacío, y si nada entra nada debe salir en este. Como se observa en la Figura 24 cada uno de los diagramas de las variables de cada nivel se comporta de acuerdo con lo previsto, además de observar que los niveles de Transformación digital, Alienación estratégica, Gestión de digitalización e Implementación digital se mantienen en cero.

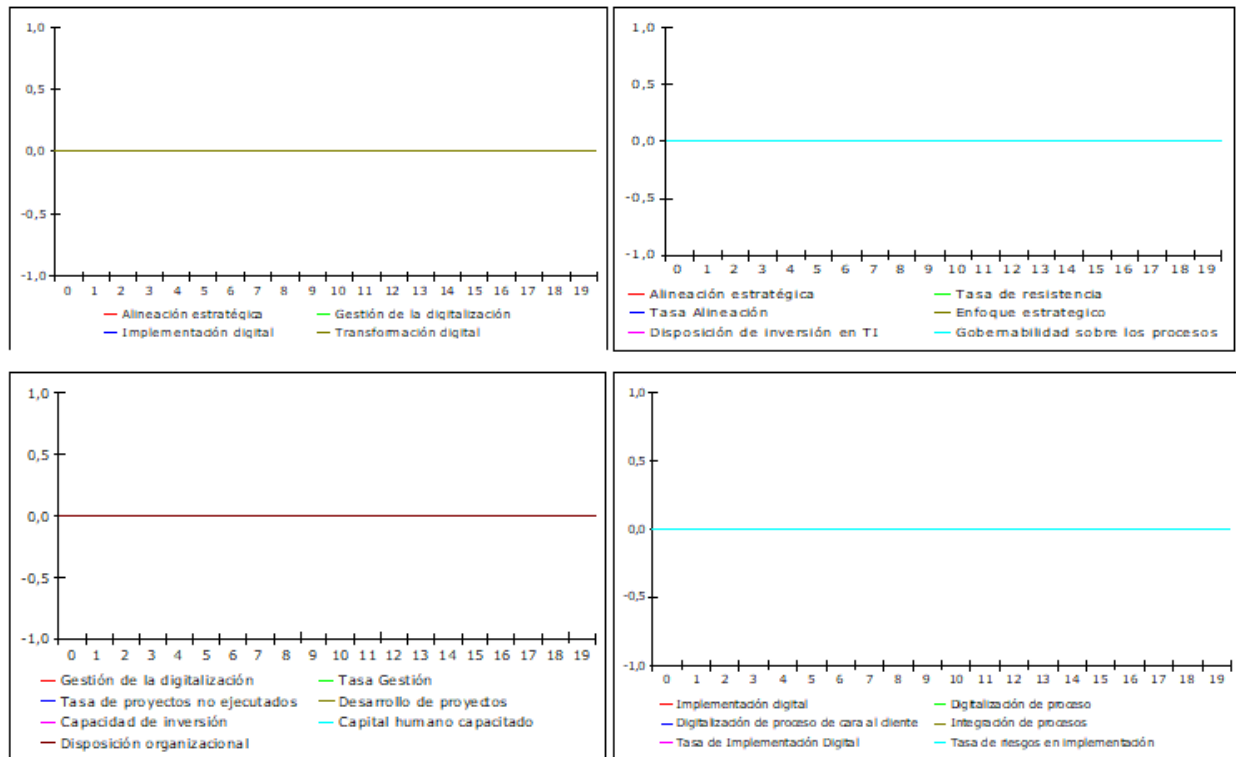


Figura 24. Prueba de Variables de entrada cero con valores de nivel en cero.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

Para la prueba de Variables de entrada cero con estado actual en nivel se esperó un comportamiento decreciente de lo acumulado en el estado actual de los niveles, debido a que nada entra al estar las variables en cero. Como se observa en la Figura 25, este comportamiento se cumple, se observa un decrecimiento de lo acumulado en cada nivel del estado actual, el cual se va agotando en el tiempo por la tasa de salida.

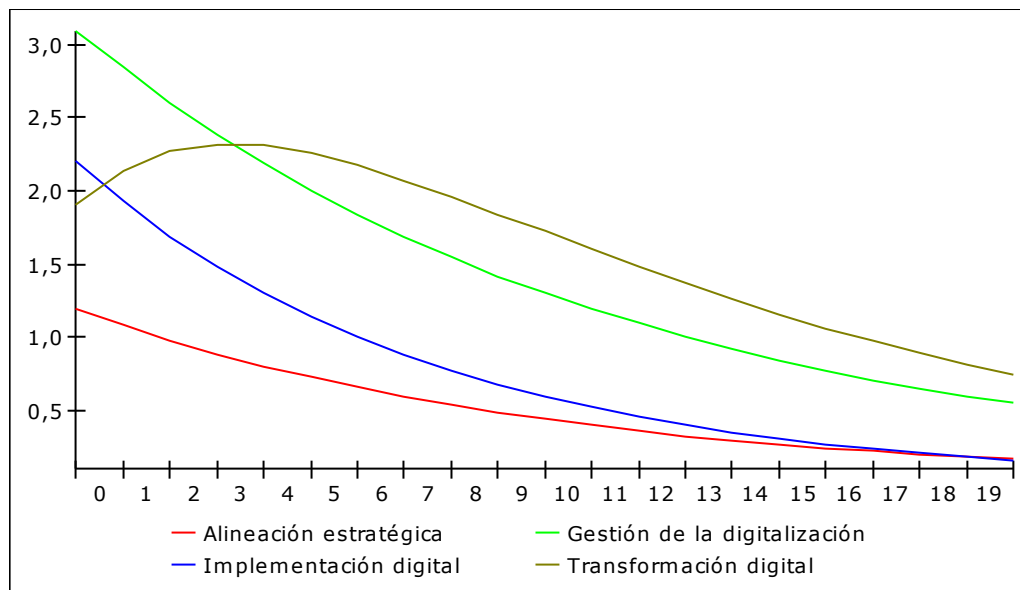


Figura 25. Prueba de Variables de entrada cero con estado actual en nivel.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

Por su parte, la prueba de Disposición de inversión en cero es una evaluación de condiciones extremas en esta variable, para ver que tanto fluctúa el modelo con respecto a su lógica operacional; la cual establece que con una disposición de inversión cero, no hay una adecuada adopción de la estrategia a largo plazo, debido a que no hay una capacidad de inversión para el desarrollo de proyectos de transformación digital. En la Figura 26 se observa que efectivamente hay un pequeño crecimiento de la Alinación estratégica, pero este no es afectivo en el tiempo si no hay una disposición a la inversión; además, se observa que la Gestión de la digitalización y la Implemnetación digital decrecen sin una capacidad de inversión que de pasa al desarrollo de proyectos digitales y nuevas tecnologías en los procesos internos y de cara al cliente. Todo esto afecta la Transformación digital de forma significativa, ocasionando un pequeño crecimiento, estabilizándola y decreciendo al pasar el tiempo. Esto ultimo debido al cambio tecnológico, donde se va volviendo obsoleto el etado actual. Es importante explicar que,

el pequeño crecimiento de la Transformación digital se da debido a sus capacidades actuales, que se estabilizan y decrecen debido a que se agota su estado actual y no hay una capacidad de inversión que impulse el desarrollo de nuevas estrategias y proyectos.

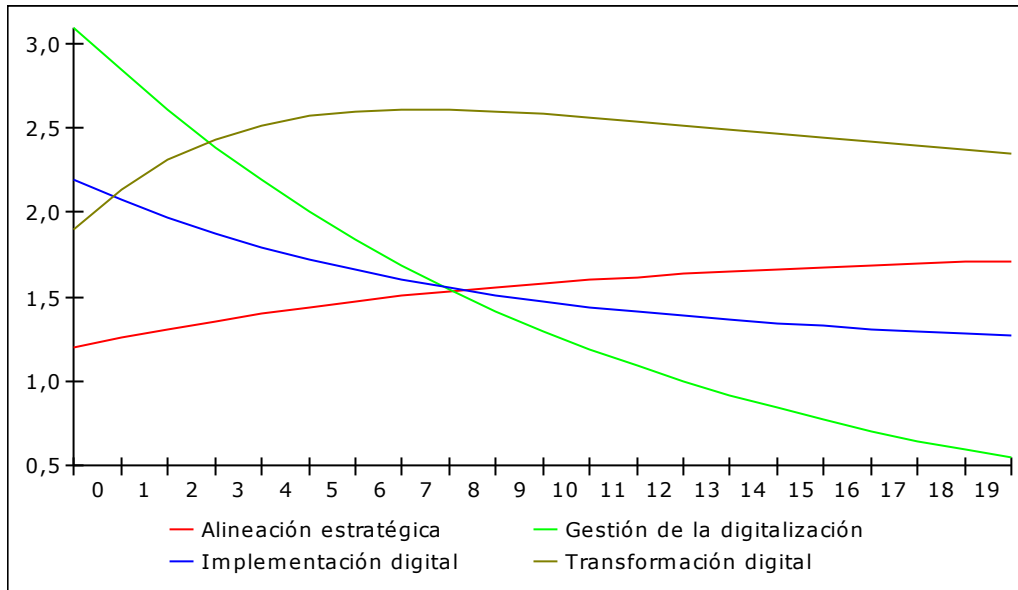


Figura 26. Prueba de Disposición de inversión en cero.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

Finalmente, la prueba de Enfoque estratégico en cero evalúa la condición extrema de esta variable para observar como se comporta el modelo con respecto a su lógica operacional; donde se espera que la ausencia de una estrategia afecta significativamente la Alineación estratégica y la Transformación digital. En la Figura 27 se observa este comportamiento, la ausencia de un Enfoque estratégico no permite que exista una conexión suficiente entre la Gobernabilidad de los procesos y la Disposición de inversión para establecer una adecuada Alineación estratégica. Además, se observa un decrecimiento en la Gestión de la digitalización e Implementación digital, teniendo en cuenta que no hay un claro horizonte del desarrollo en la Transformación digital. En cuanto a esta última, se observa un crecimiento de sus capacidades actuales, las cuales

se agotan hasta ocasionar un decrecimiento del nivel alcanzado, por la ausencia de un horizonte estratégico que encamine el desarrollo de las actividades de transformación.

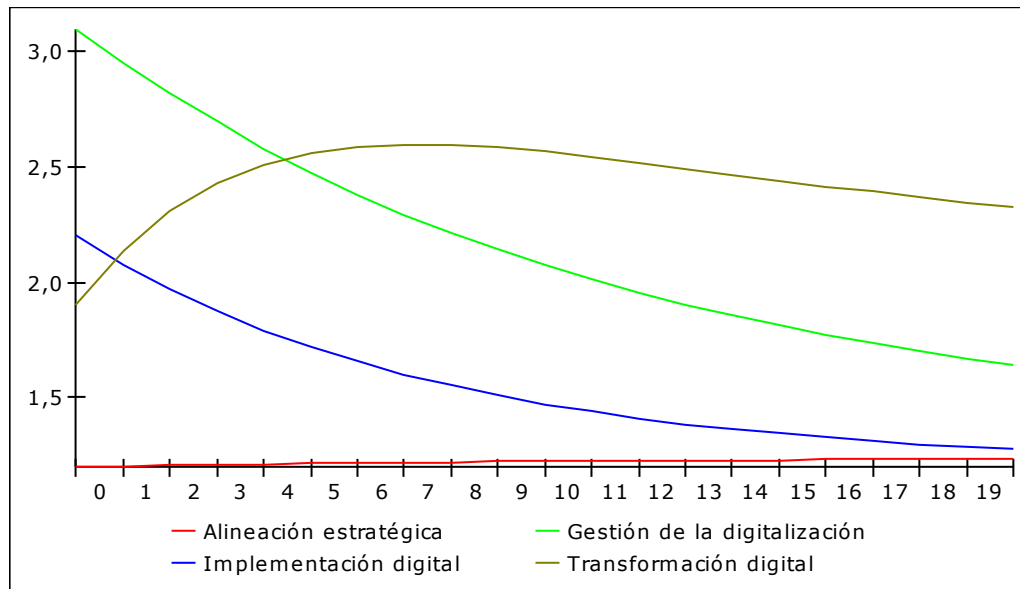


Figura 27. Prueba de Enfoque estratégico en cero.

Fuente: Elaboración propia en el Software de simulación Powersim Studio 10 ®.

Las pruebas de validación realizadas permiten determinar que el modelo presenta un adecuado comportamiento y estructura, acorde con el sistema de Transformación digital definido de forma conceptual. Esto permite tener una mayor confiabilidad en los resultados que se obtengan en la simulación.

### Pruebas de patron de comportamiento.

Para las pruebas de patron de comportamiento se plantean análisis de sensibilidad que validan que tan sensible es el modelo y sus resultados ante la variación de parámetros. Para el caso de estudio se planteo un análisis de sensibilidad para las variables de Disposición de

inversión y enfoque estratégico, teniendo en cuenta que la revisión bibliográfica respalda la inversión como un aspecto importante para impulsar la Transformación digital (Braga Tadeu et al., 2019; EFI–Expertenkommission Forschung und Innovation, 2016; Ochoa, 2016b), y la estrategia como un aspecto base para el desarrollo oportuno y solido de esta (Berghaus & Back, 2016; Heavin & Power, 2018; Henriette et al., 2016; Morakanyane et al., 2017; Parviainen et al., 2017).

Para el caso de la prueba de sensibilidad en Disposición de inversión se le dio cinco valores iniciales a esta variable que son: 0 - 1,4 (valor inicial base del modelo) - 2,4 - 3,4 - 4,4. Con estos valores se obtuvo los siguientes resultados en torno a la Transformación digital (Figura 28).

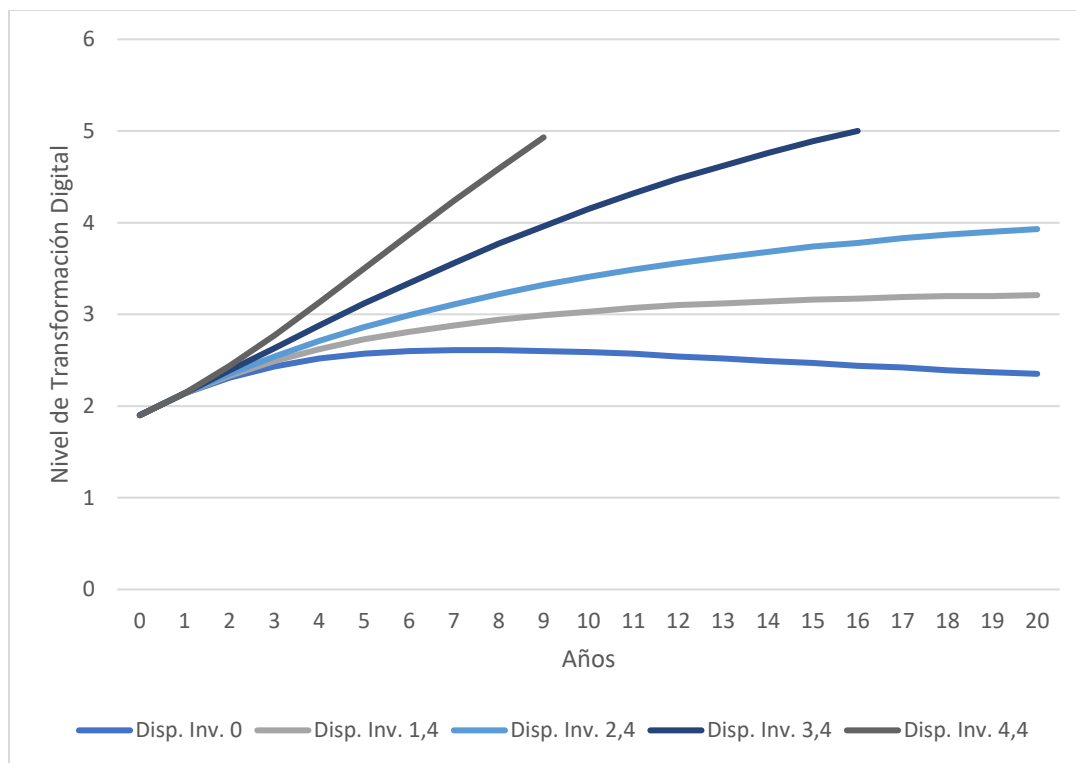


Figura 28. Sensibilidad de Transformación Digital con respecto a la Disposición a la inversión en TI.

Fuente: Elaboración propia.



La figura anterior muestra el comportamiento de la Transformación digital con valores diferentes de la Disposición de inversión, donde se evidencia un grado de influencia significativa en esta. Un aumento en una decima de este valor representa un incremento en los resultados de Transformación digital; al inicio se observa un crecimiento similar debido a las capacidades acumuladas y luego se muestra un comportamiento sensible a lo cambios de la Disposición de inversión, en donde el aumento de este nivel de disposición permite observar un aumento acelerado en los resultados de Transformación digital a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se puede analizar que a partir del valor 2,4 se acelera el crecimiento de la Transformación Digital

Por su parte, la prueba de sensibilidad de Enfoque estratégico adopto los siguientes valores: 0 – 1 (valor inicial base del modelo) – 2 – 3 – 4 – 5. Con esto se obtuvo los resultados de la Figura 29.

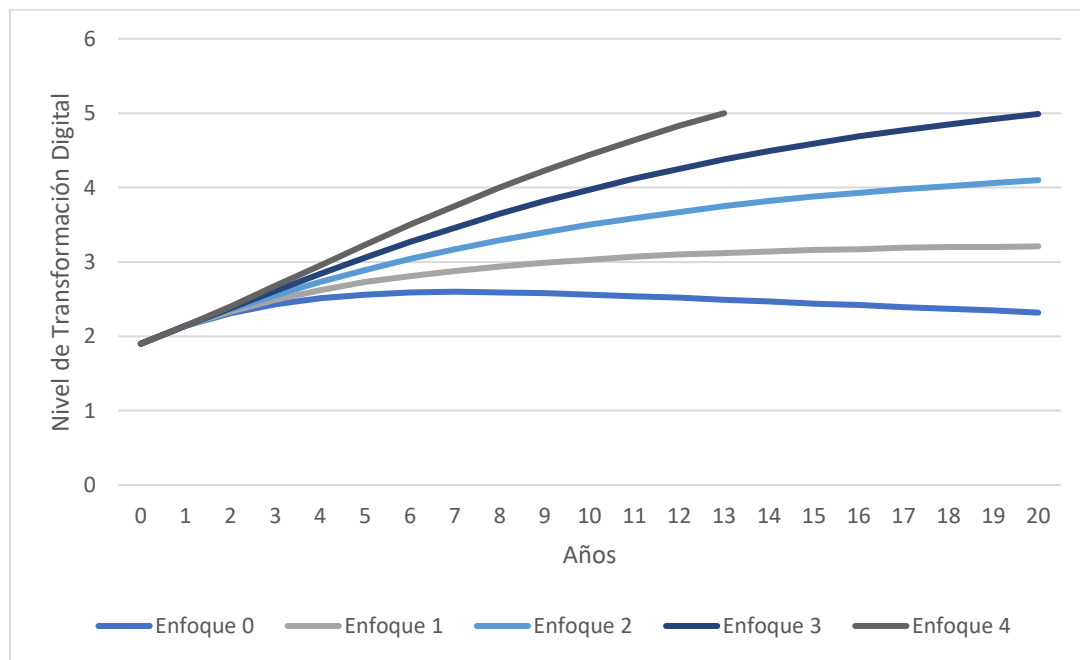


Figura 29. Sensibilidad de Transformación Digital con respecto al Enfoque estratégico.

Fuente: Elaboración propia.

La figura anterior muestra el comportamiento de la Transformación digital con valores diferentes de Enfoque estratégico, mostrando claramente un grado de influencia significativo en esta. A partir de un enfoque en nivel 1 se puede ver un incremento en la transformación digital, el cual se vuelve cada vez mas significativo a medida que el nivel del enfoque va aumentando. Esto quiere decir que hay una incidencia importante en la definición de las estrategias digitales en el desarrollo y adopción de resultados que permitan un avance en la Transformación Digital; siendo esta variable muy influyente en el modelo.

Adicionalmente, es importante resaltar que el modelo planteado se basa en las relaciones e influencias determinadas con las herramientas de AHP y DEMATEL, lo cual se obtuvo a través de un instrumento que fue respondido por un grupo de expertos. Esto debido a la carencia de información de un sistema enfocado a la Transformación digital.

Las pruebas de comportamiento, estructura y el enfoque de desarrollo del modelo a partir de expertos, permiten presentar un modelo confiable para los resultados de las simulaciones, siendo consistente en su estructura, relaciones, y comportamiento con respecto al sistema de estudio.

### **Resultados del modelo base y análisis de escenarios**

Con el modelo validado, se procede a la evaluación de las acciones a partir de la definición de cuatro escenarios que agrupan una serie de estrategias encaminadas al fortalecimiento de la Transformación Digital; para lo cual es necesario contemplar variaciones en el modelo base.

En primera instancia, es necesario simular el escenario base de las condiciones actuales de la Transformación digital en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico, con respecto a los factores de Alienación estratégica, Gestión de la digitalización e Implementación digital. Luego se comparan los resultados con los obtenidos en la simulación para los escenarios de las acciones, de tal manera que se analice el comportamiento de las estrategias a implementar y determinar las que arrojan un mejor resultado en el tiempo.

Los escenarios para analizar son los siguientes:

- Escenario 1: Incremento del porcentaje de previsión de crecimiento, el cual impulsa variables de los factores principales, representando una política orientada a la definición de acciones de digitalización que están enfocadas al crecimiento más rápido, partiendo de una política de alineación de la estrategia digital empresa-Clúster, debido a la ventaja competitiva que esta genera.
- Escenario 2: Acciones orientadas a capacitar el personal en las nuevas tecnologías y concientizar en los procesos de transformación digital, para disminuir la resistencia al cambio. Estas acciones de capacitación y concientización están acompañadas de una disminución en la tasa de los proyectos no terminados. Adicionalmente, un aumento en la disposición de inversión.
- Escenario 3: Acciones tecnológicas orientadas a fortalecer los procesos de cara al cliente y operacionales, lo cual implica inversión en nuevas tecnologías y su implementación. Adicionalmente, un aumento en la disposición de inversión.
- Escenario 4: las estrategias del escenario 1 y 2, para evaluar los resultados orientados en acciones hacia la alienación estratégica y la gestión de la digitalización.

- Escenario 5: las estrategias del escenario 2 y 3, para evaluar los resultados orientados en acciones hacia la gestión de la digitalización e implementación digital.
- Escenario 6: las estrategias del escenario 1, 2 y 3, para evaluar los resultados orientados en acciones hacia la alienación estratégica, gestión de la digitalización e implementación digital.

De esta manera, se tienen escenarios con un conjunto de acciones para determinar el comportamiento de cada una de estas y definir el direccionamiento oportuno del plan de acción.

### **Escenario base.**

El escenario base consiste en la simulación de los resultados del modelo en estado actual de la Transformación digital en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico en el 2019. Los valores base fueron tomados de un diagnóstico realizado en este sector, utilizando una herramienta nacional producto de la entidad Programa de Transformación Productiva (PTP), hoy llamada Colombia Productiva. Para esto, fue necesario adaptar el instrumento a una escala de 0 a 5 que permitiera determinar un nivel de desarrollo y avance en la Transformación Digital y los factores que la componen. Adicionalmente, tener como criterio base expertos en el tema para la construcción y validación del modelo, utilizando herramientas de decisión como AHP y DEMATEL.

A continuación, en la Tabla 15 se presentan los valores iniciales determinados en el diagnóstico para los parámetros del modelo y niveles.

*Tabla 15. Valores iniciales del modelo para los niveles y factores.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Nivel de implementación digital</b>	2,2

<b>Digitalización de procesos</b>	2,7
<b>Integración de procesos</b>	2,4
<b>Digitalización de procesos de cara al cliente</b>	1,9
<b>Nivel de gestión de digitalización</b>	3,1
<b>Disposición organizacional</b>	4,3
<b>Desarrollo de proyectos</b>	2,7
<b>Capital humano capacitado</b>	2,5
<b>Nivel de alineación estratégica</b>	1,2
<b>Enfoque estratégico</b>	1
<b>Gobernabilidad sobre los procesos</b>	1,9
<b>Disposición de inversión TI</b>	1,4

---

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en la simulación se muestran de la Figura 30 a la Figura 33; para el caso de los factores principales del modelo, en la Figura 30 se observa un comportamiento creciente de los niveles de Alineación estratégica y Transformación digital hasta estabilizarse, debido a que la estrategia en el tiempo se fortalece y consolida hacia una mayor transformación. Por su parte se observa un decrecimiento en la Gestión de la digitalización e implementación digital hasta estabilizarse, lo cual representa un agotamiento de las capacidades iniciales del sistema si no hay acciones que ayuden a sustentar la Transformación.

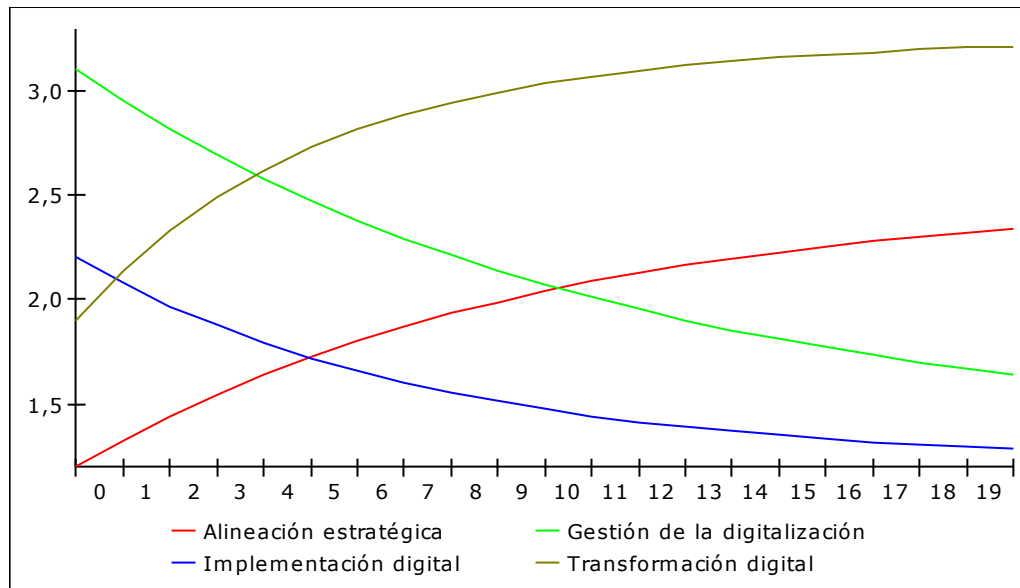


Figura 30. Resultado de simulación factores principales de Transformación digital.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se observa el crecimiento del factor de Alineación estratégica dado por la acumulación en el tiempo de las variables de enfoque estratégico, disposición de inversión en TI y gobernabilidad de procesos; donde el enfoque estreategico juega un papel importante en el crecimiento de la alineación.

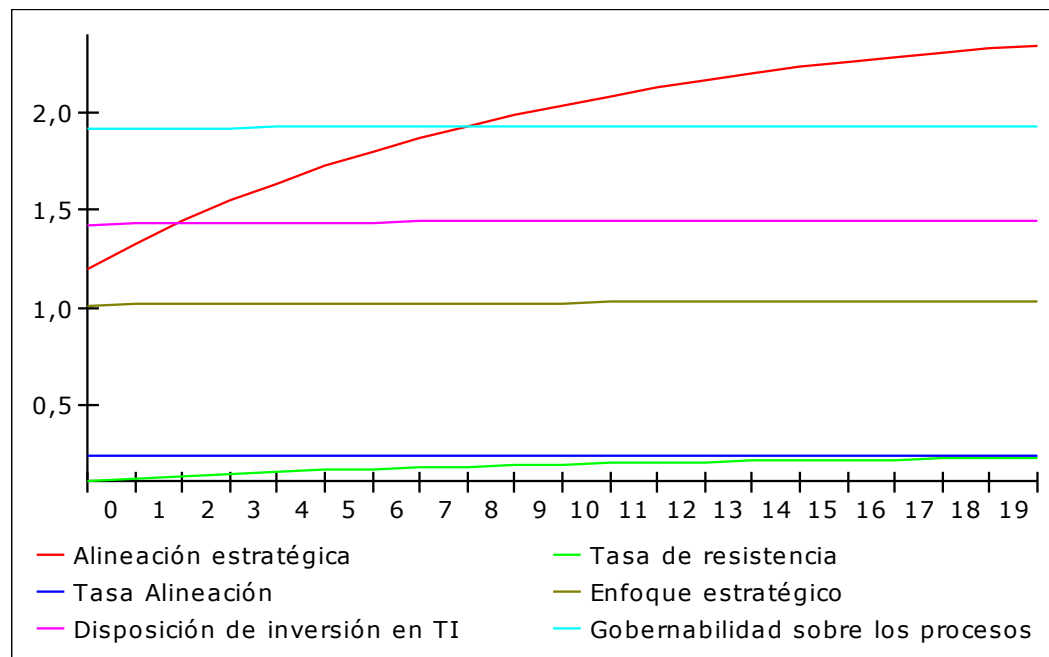


Figura 31. Resultado de simulación con respecto al factor de Alineación estratégica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32 se evidencia el comportamiento de la Gestión de la digitalización, la cual es decreciente hasta estabilizarse, dado que la tasa de proyectos no ejecutados es alta lo que ocasiona un flujo de salida mas alto que el de entrada. Sin embargo, en el tiempo la capacidad se va agotando, ocasionado una disminución en la tasa de proyectos no ejecutados hasta estabilizarlo. Esto quiere decir que la gestión en el tiempo se va consolidando, ocasionando mejores resultados. Adicionalmente, la gestión de la digitalización se encuentra impulsada por la capacidad de inversión la cual es solo de 10 millones para el estado actual, haciendo que sea limitado el resultado de desarrollo de proyectos, capital humano capacitado y disposición organizacional.

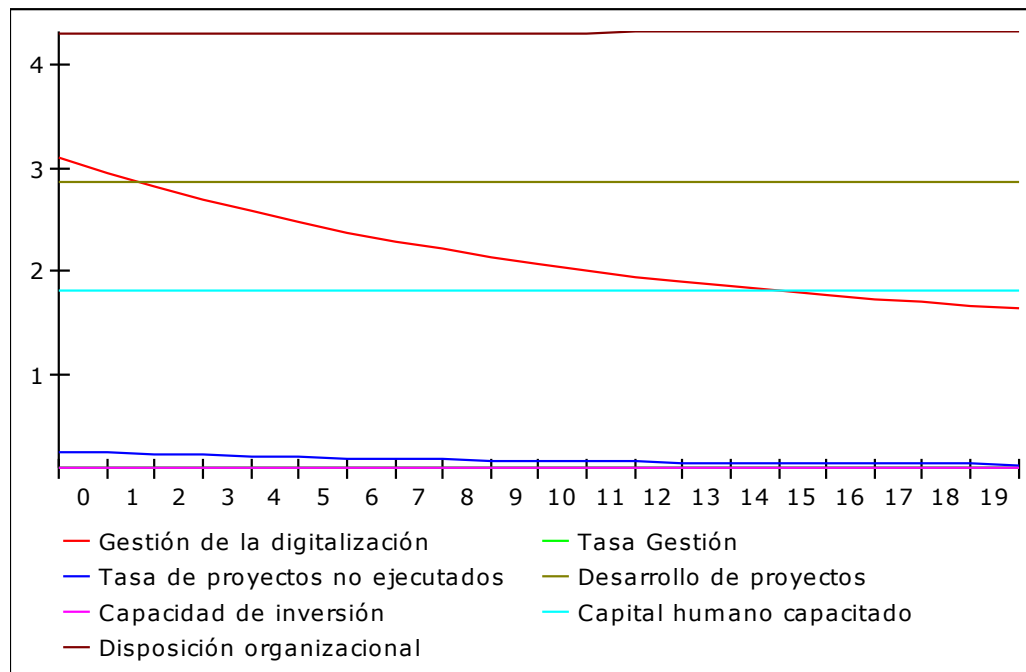


Figura 32. Resultado de simulación con respecto al factor de Gestión de digitalización.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en la Figura 33 se observa la simulación de la implementación digital, la cual inicialmente es decreciente y luego se estabiliza; debido a que la tasa de riesgos en la implementación es alta y ocasiona un flujo de salida mas alto que el de entrada. En el tiempo esta capacidad se va agotando, alcanzando un equilibrio con la tasa de implementación. Esta ultima tasa esta dada por la digitalización de proceso, digitalización de procesos de cara el cliente y la integración de procesos, partiendo de un estado inicial con un crecimiento acumulativo en el tiempo, haciendo que el proceso sea lento si no hay una estrategia clave que impulse el desarrollo o inclusión de nuevas tecnológicas. Adicionalmente, una baja gestión de la digitalización trae resultados negativos para la implementación.



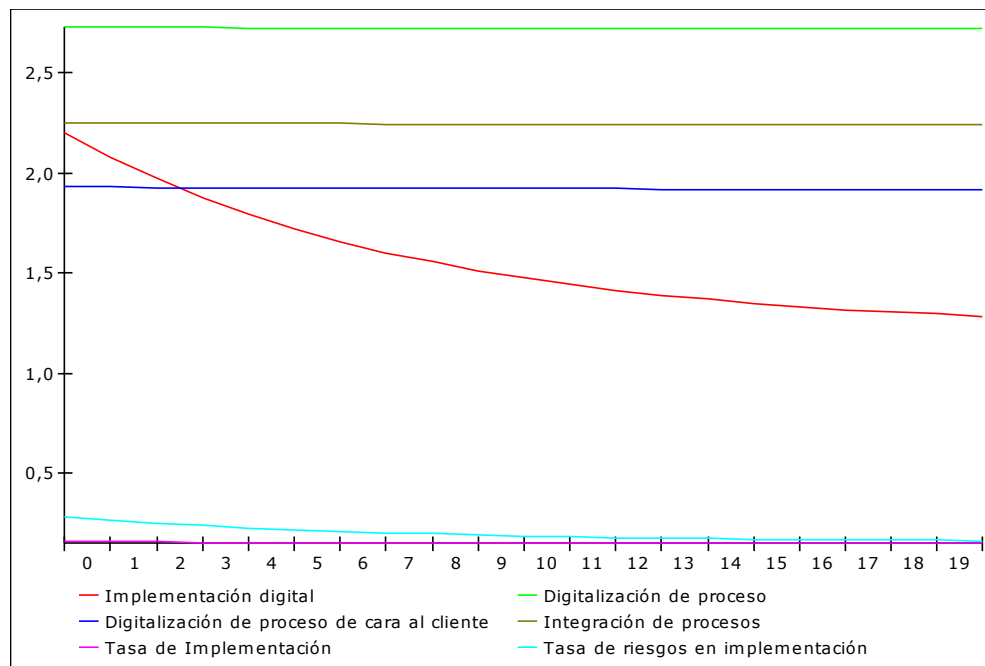


Figura 33. Resultado de simulación con respecto al factor de Implementación digital.

Fuente: Elaboración propia.

### Escenario 1.

El escenario 1 representa una estrategia orientada a fortalecer el factor de Alineación estratégica, la cual impacta los demás factores y variables del modelo, y se traduce en un aumento del porcentaje de previsión de crecimiento de un estado base de 1,4% a 5%. De esta manera se observará el cambio en el nivel de transformación digital a partir de acciones destinadas a fortalecer este factor, partiendo de una política de alineación de la estrategia digital empresa-Clúster, debido a la ventaja competitiva que esta genera.

En la Figura 34 se puede observar el comportamiento del nivel de la digitalización de este escenario frente al escenario base a lo largo del tiempo, donde el incremento es mínimo cuando se trata de cambios en esta variable a pesar de que su influencia esta dirigida en varias partes del

modelo. Es importante aclarar que, en este escenario se mantuvieron los valores iniciales, y solo se hizo un cambio la previsión de crecimiento.

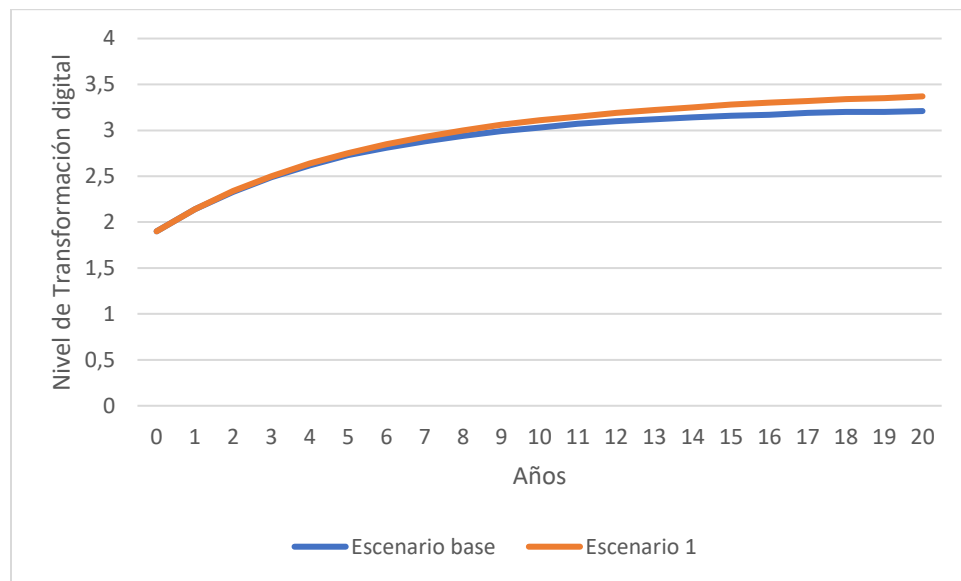


Figura 34. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1 Vs Escenario base.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, en la Figura 35 se observa el comportamiento de los factores de Transformación digital, donde igual forma hay un incremento mínimo en cada uno de los factores, que al final se ve reflejado en el nivel de

transformación. En este sentido, teniendo en cuenta los cambios mínimos en el escenario 1 se podría decir que las condicionales actuales de Alineación estratégica son bastante favorables; solo se requiere tiempo para una adecuada consolidación de la política estratégica de digitalización a nivel organizacional y una adecuada alienación empresa-Clúster para la consecución de objetivos y el aprovechamiento de las ventajas que ofrece el Clúster.

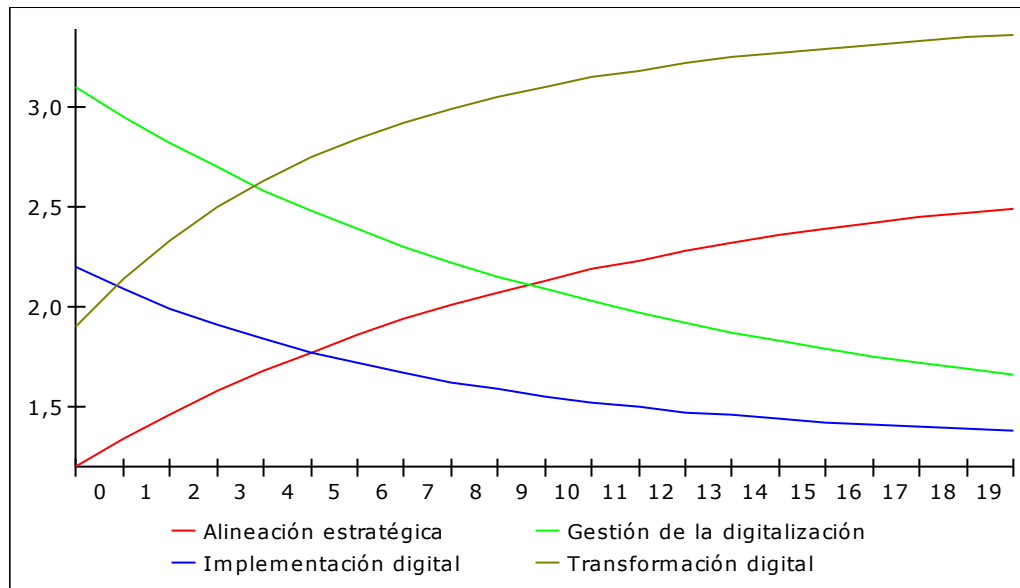


Figura 35. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario 2.

El escenario 2 plantea unas acciones orientadas a mejorar las condiciones del Factor de Gestión de la digitalización, la cual se traduce en estrategias orientadas a combatir la resistencia al cambio a partir de capacitaciones al personal hacia las nuevas tecnologías y la concientización de procesos de transformación digital. Adicionalmente, estas acciones y fortalecimiento de la gestión traen consigo mejores resultados en el desarrollo de proyectos.

Para ver el impacto que se ejerce, se disminuye la resistencia al cambio de 30% a 20%, y la tasa de proyectos no terminados de 25% a 20%; redistribuyendo el 5% menos en los proyectos terminados y terminados fuera de tiempo. Todo esto acompañado de un aumento en la disposición de inversión, teniendo en cuenta que para aplicar nuevas acciones es necesario contar con un recurso económico que lo impulse.

En la Figura 36 se encuentra el comparativo entre los escenarios 1, 2 y el escenario base, donde se observa que para el escenario 2 hay un aumento significativo del nivel de Transformación digital a lo largo del tiempo en comparación con los otros dos escenarios, teniendo en cuenta que solo se hicieron los cambios antes establecidos y los demás valores se mantuvieron del escenario base.

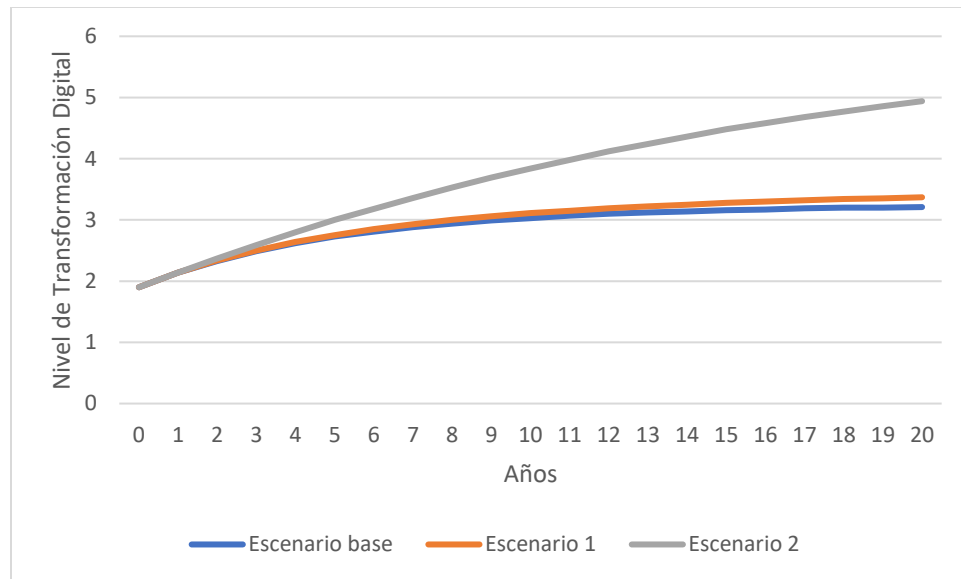


Figura 36. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 y Escenario base.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se observa como los cambios en este escenario reflejan unos mejores resultados para la Gestión de la digitalización, y a su vez mejores resultados en los niveles de Alienación estratégica e Implementación digital en comparación con los resultados del escenario 1. Esto se debe a la influencia que tiene este factor sobre sus otros dos factores y el cambio significativo del resultado de la gestión, donde antes tenía un comportamiento decreciente, y ahora creciente en el tiempo.

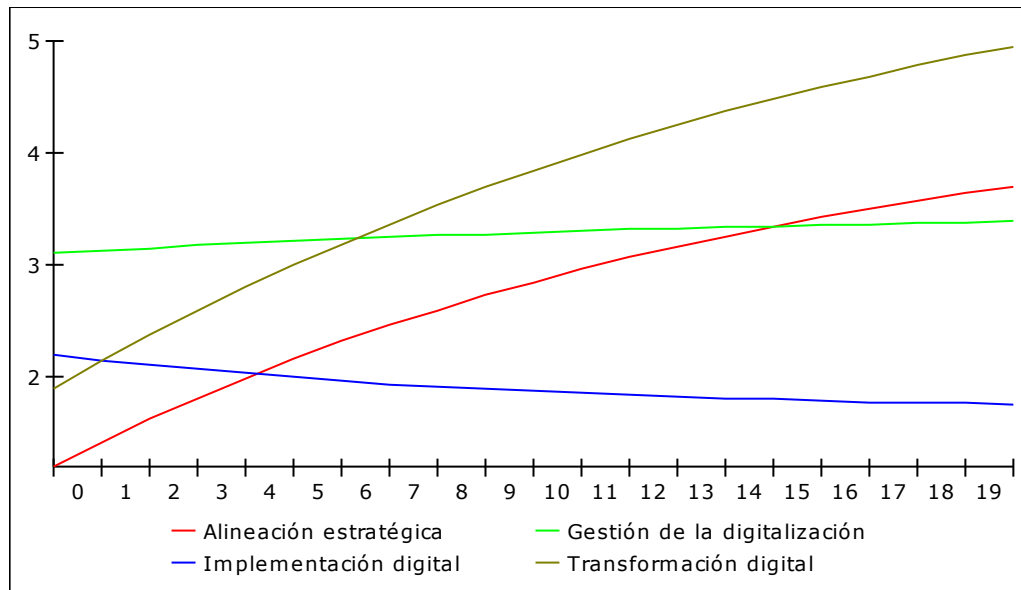


Figura 37. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados del escenario 2 se puede concluir que estrategias encaminadas a fortalecer la gestión de la digitalización con las capacidades actuales de alineación estratégica e implementación digital, reflejan un incremento significativo a lo largo del tiempo en el nivel de Transformación digital y los factores principales del sistema.

### Escenario 3.

Este escenario refleja unas condiciones estrategicas orientadas a fortalecer el factor de Implementación digital, el cual se ha caracterizado tener un comportamiento decreciente por la ausencia de acciones encaminadas mejorar los procesos de cara al cliente y opracionales. En este sentido se establece un escenario dirigido a la inversión en nuevas tecnologías, su implementación e integración en las áreas antes descritas. Para esto es necesario que en el

modelo se incluya una nueva variable denominada “Estrategias tecnológicas” que ingresa en el flujo de entrada en el nivel de Implementación digital. Esta nueva constante representa un aumento del 50% de la integración estratégica. Por su parte, es necesario un aumento de la disposición de inversión de 1,4 a 2,4 para la aplicación de las nuevas acciones.

En la Figura 38 se observa el comparativo de los escenarios 1, 2, 3 y el escenario base, donde se evidencia unas mejores condiciones en el nivel de Transformación digital en el escenario 3 con respecto al escenario base; pero un menor resultado si se compara con el escenario 2.

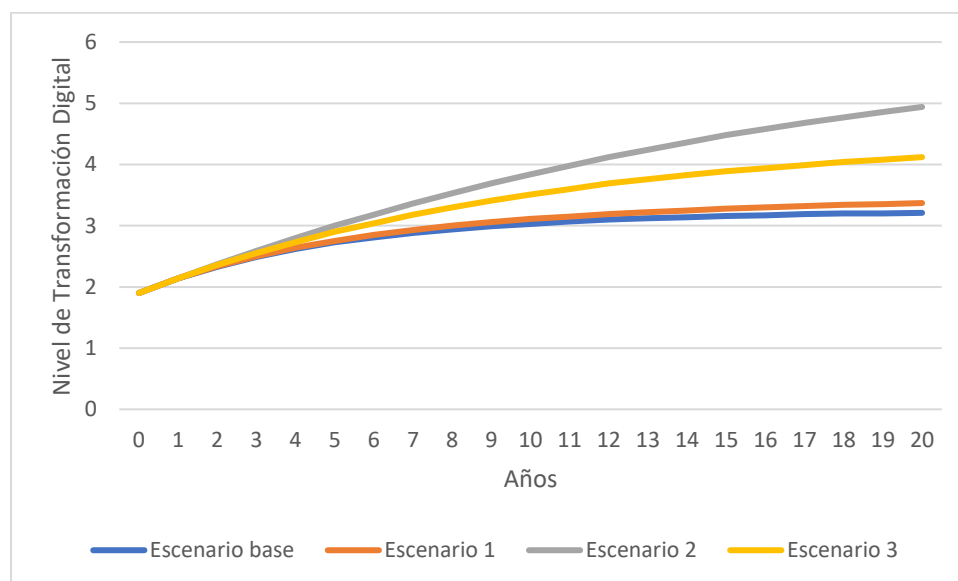


Figura 38. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3 y Escenario base.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de comportamiento que muestra la Figura 39 con respecto a los factores y la Transformación digital muestran mejoras con respecto al escenario base, sin embargo, estos no son tan significativos en la Implementación digital debido a que se continúa observando un comportamiento decreciente. Con lo cual se puede concluir que acciones encaminadas a adquirir

nuevas tecnologías impactan el nivel de Transformación digital, pero no son suficientes para tener un mejor nivel de implementación digital a largo plazo.

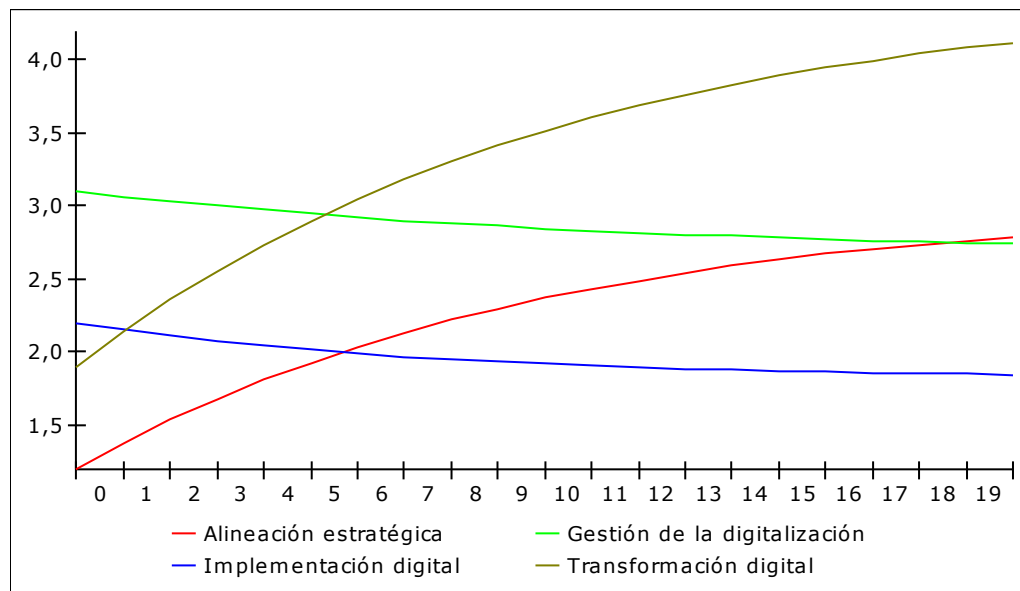


Figura 39. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia.

#### Escenario 4.

Este escenario busca combinar las acciones de los escenarios 1 y 2 para observar los resultados orientados a fortalecer la alineación estratégica y la gestión de la digitalización, y ver como se ve reflejado en el sistema y la Transformación digital.

En este sentido, en la Figura 40 se observa el comportamiento del nivel de Transformación digital en los escenarios 1, 2, 3, 4 y el escenario base, mostrando un crecimiento mas rápido en este ultimo escenario con respecto a los demás. Incluso se puede observar que alcanza el nivel mas alto de Transformación Digital 2 años antes que el escenario 2, el cual era quien mostraba mejores resultados.

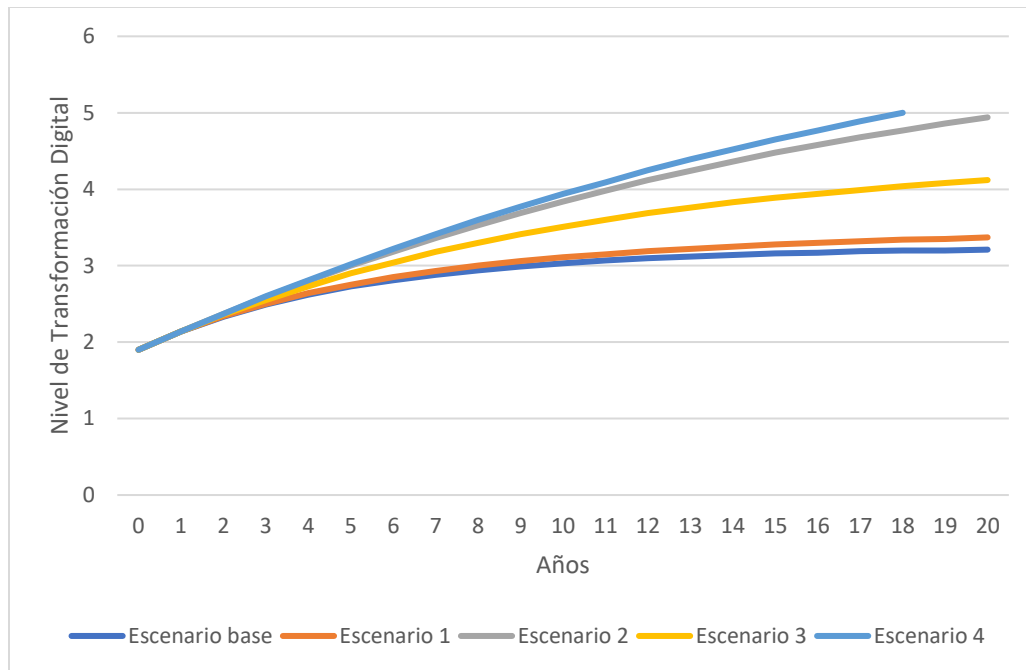


Figura 40. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3, 4 y Escenario base.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en la Figura 41 se observa el comportamiento con respecto a los factores y la Transformación digital, evidenciando mejoras con respecto al escenario base en todos sus factores, principalmente en la gestión de la digitalización y la alineación estratégica, sin embargo, estos no son tan significativos en la Implementación digital debido a que se continúa observando un comportamiento decreciente. Con esto se puede concluir que la combinación de los escenarios 1 y 2 benefician a sus factores correspondientes, y generan un impacto positivo sobre la implementación, pero mínimo.



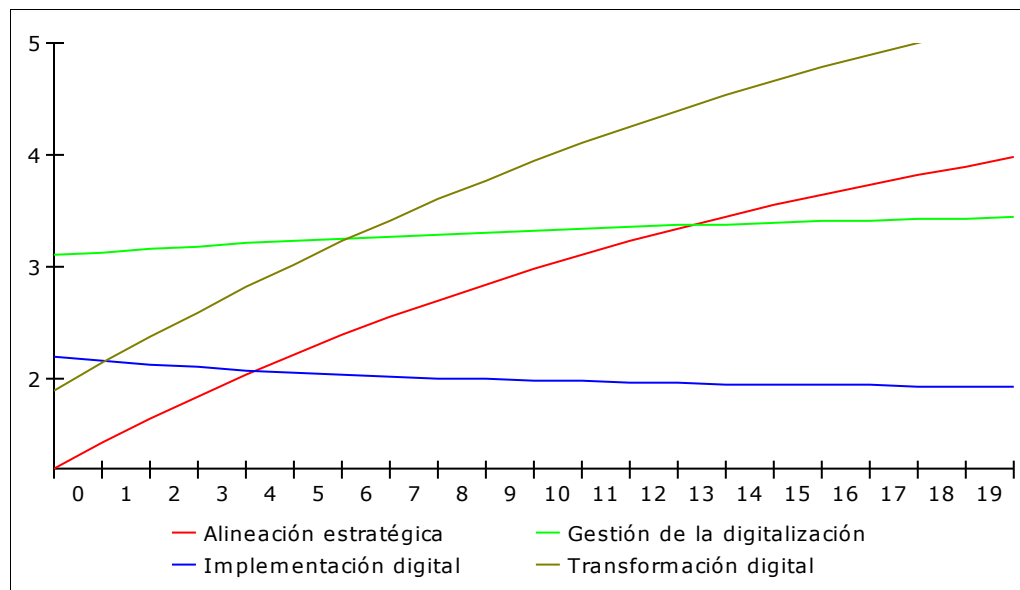


Figura 41. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 4.

Fuente: Elaboración propia.

### Escenario 5.

El escenario 5 muestra los resultados de la combinación de los escenarios 2 y 3 para observar un fortalecimiento hacia la gestión de la digitalización y la implementación digital, y ver como se ve reflejado en el sistema y la Transformación digital.

En la Figura 42 se observa el comportamiento del nivel de Transformación digital en este y los demás escenarios, donde es evidente un comportamiento casi igual al del escenario 4. En la imagen no se observa la diferencia del comportamiento de los dos escenarios, pero en los resultados arrojados en la simulación se observa que estos presentan centésimas de diferencia.

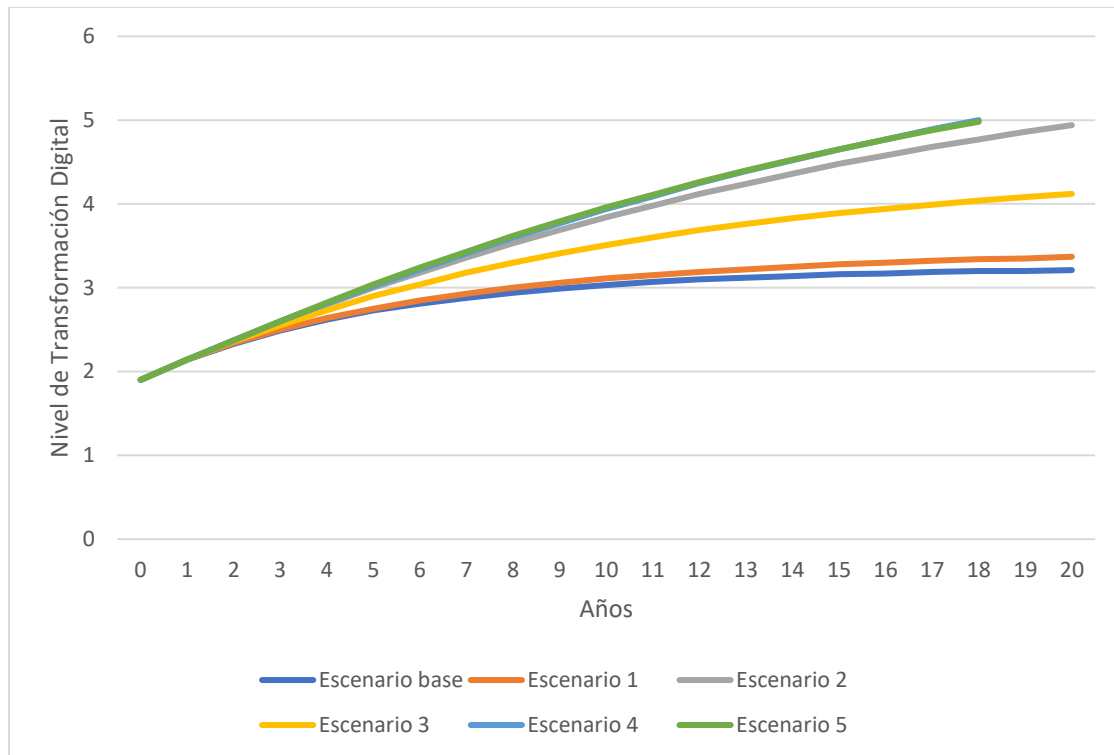


Figura 42. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3, 4, 5 y Escenario base.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 se observa como la combinación de los escenarios 2 y 3 muestra mejores resultados en todos los factores, principalmente en el de implementación digital, el cual no había tenido un comportamiento creciente en los escenarios anteriores. Con esto se puede concluir que, los escenarios 4 y 5 tienen resultados iguales con respecto a la transformación digital, pero cuando observamos el comportamiento de los factores, en el escenario 5 se evidencia mejores resultados en la implementación digital, es decir, que estrategias de implementación de nuevas tecnologías acompañada con una mejor gestión digital genera resultados positivos para todo el sistema.

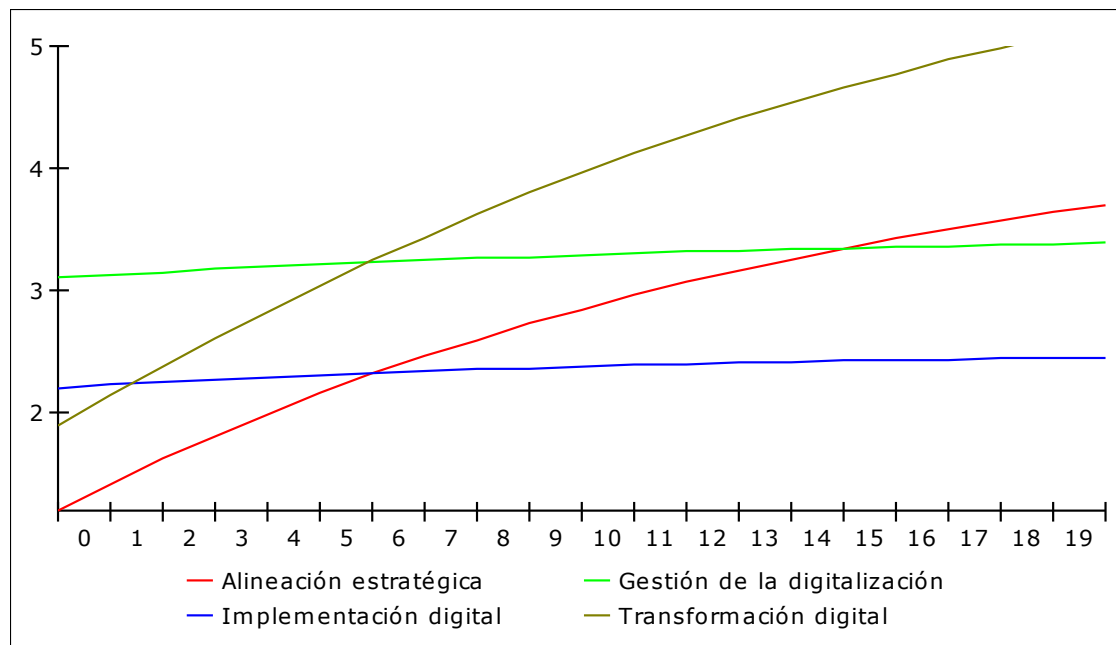


Figura 43. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 5.

*Fuente: Elaboración propia.*

### Escenario 6.

Finalmente, en el escenario 6 se muestran los resultados de la combinación de los escenarios 1, 2 y 3, es decir, acciones encaminadas a fortalecer cada uno de los factores principales del sistema, con el objetivo de observar si realmente hay un impacto significativo en el desarrollo de todas las estrategias, analizando como se ve reflejado en el sistema y la Transformación digital.

En la Figura 44 se observa el comportamiento del nivel de Transformación digital en todos los escenarios. Para el escenario 6 se observa un mejor resultado de la transformación digital con respecto a los demás y el escenario base. Sin embargo, se puede decir que este crecimiento no está del todo alejado a los resultados de los escenarios 4 y 5.

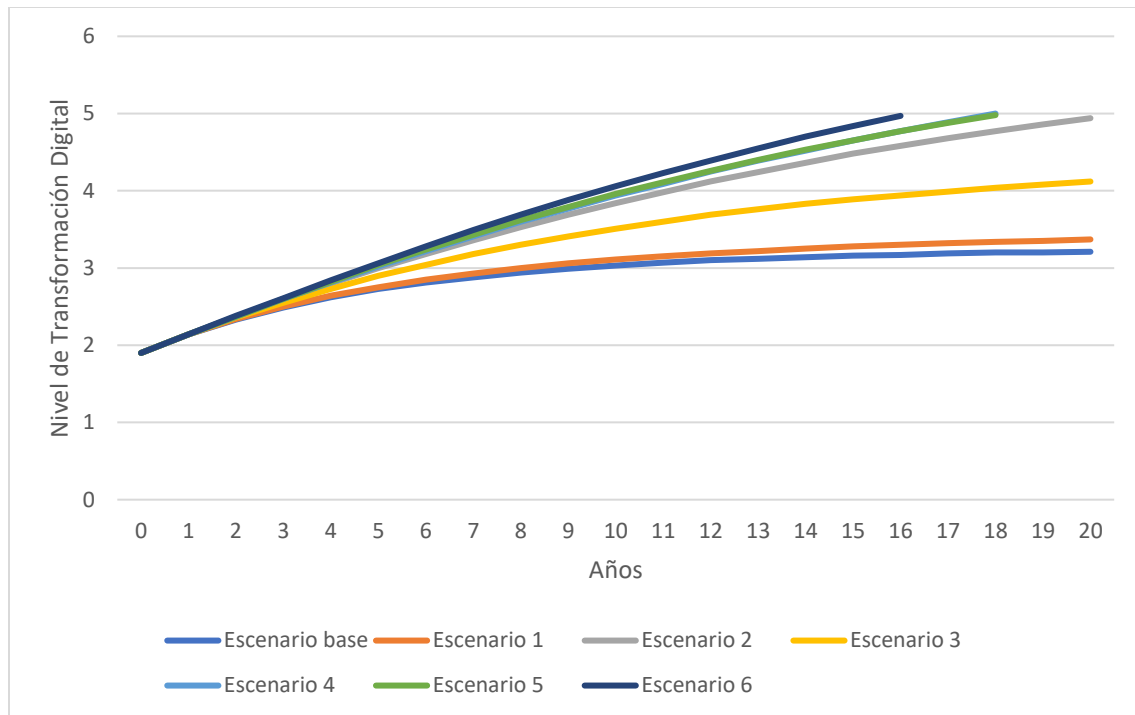


Figura 44. Comparativo de nivel de Transformación digital - Escenario 1, 2 3, 4, 5, 6 y Escenario base.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 se observa como la combinación de los escenarios 1, 2 y 3 muestra un comportamiento similar al arrojado en el escenario 5, con la diferencia de que el escenario 6 muestra un crecimiento un poco mas rápido para en el factor de alineación estratégica y Transformación digital, para los otros dos factores el comportamiento es igual. Con esto se puede concluir que no hay un cambio significativo en el escenario 6 con respecto al 5, debido a que el primero solo se ve reflejado en un factor que contribuye a un mejor resultado en la Transformación digital.

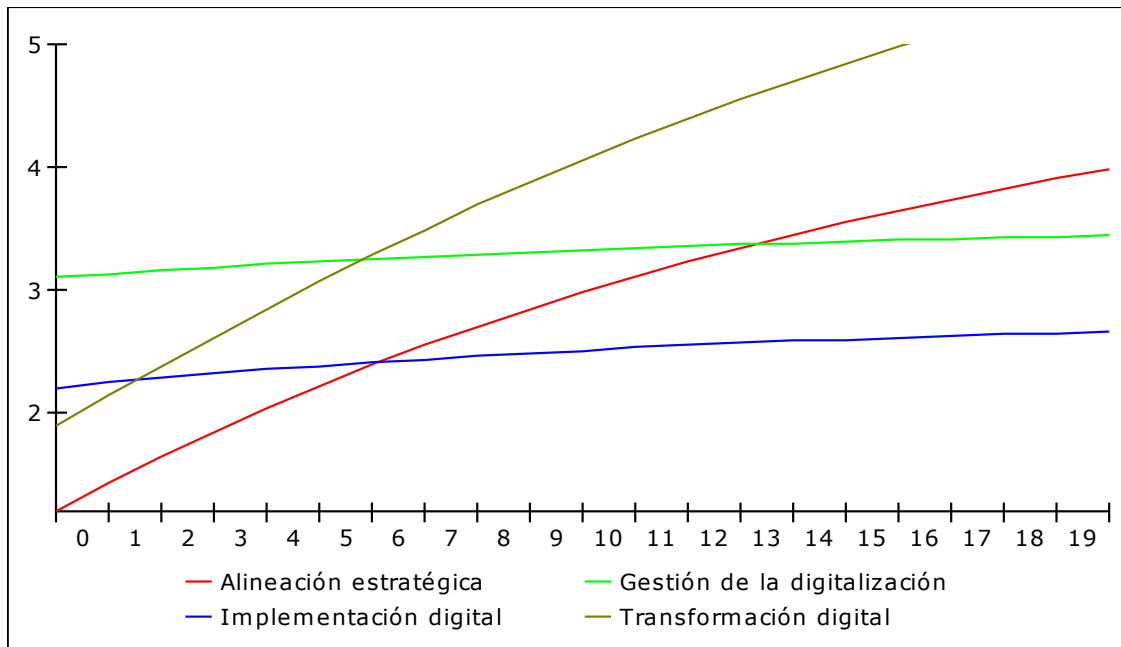


Figura 45. Comportamiento de factores de Transformación digital en Escenario 6.

Fuente: Elaboración propia.

### **Propuesta de plan de acción para la Transformación Digital**

Para el desarrollo de la fase 3 o construcción el plan de acción de Transformación Digital, fue necesario realizar un análisis de los resultados del modelo en cuanto a los escenarios evaluados para determinar los factores y subfactores mas influyentes a largo plazo en el nivel de transformación digital. Este análisis de resultados permitió tener unas conclusiones generales del comportamiento del sistema, las cuales fueron la base de desarrollo de la propuesta del plan de acción. Adicionalmente, esta propuesta se construyó con la colaboración de 3 gerentes de empresas especialistas en temas de transformación digital y herramientas de Industria 4.0; garantizando un enfoque acorde a los resultados obtenidos.

### **Identificación de las acciones más influyentes en la Transformación Digital**

Para la identificación de las acciones mas influyentes y el direccionamiento pertinente del plan estratégico se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos en el modelo con respecto a los 6 escenarios definidos, observando como fue el comportamiento del nivel de Transformación digital y sus factores a lo largo del tiempo. Es importante recordar que los primeros tres escenarios manejaron un enfoque de estrategia alienado a los factores definidos en el modelo, y los tres siguientes una combinación de las estrategias definidas en los primeros tres. A continuación, se relaciona un cuadro resumen de los resultados mas representativos en cada escenario con respecto a sus factores, y una conclusión por escenario acorde al enfoque de la estrategia que en cada uno se definió. (Tabla 16)

Tabla 16. Resumen de resultados de escenarios

Escenario	Enfoque de estrategia	Análisis	Conclusión
Base	N/A	<p>1. Crecimiento de la transformación digital hasta estabilizarse en aproximadamente un puntaje de 3,2, en unos 20 años. Este resultado se debe principalmente a la estrategia.</p> <p>2. Crecimiento de la Alineación estratégica en un puntaje aproximado 2,3, en unos 20 años. La estrategia actual se consolida en el tiempo.</p> <p>3. Decrecimiento de la Gestión de la digitalización e Implementación Digital, debido a un agotamiento de las capacidades iniciales del</p>	<p>Es importante la Alineación estratégica en el nivel de Transformación digital debido a su influencia en el crecimiento, debido a que la estrategia se consolida en el tiempo y brinda mejores resultados. Sin embargo, es importante contar con estrategias orientadas a mejorar las capacidades tecnológicas/digitales y sustentarlas en el tiempo, para tener mejores y más rápidos resultados en la Transformación Digital.</p>

sistema si no hay acciones que  
ayuden a sustentar la  
Transformación.

1	Alineación  estratégica	<div>1. Pequeño aumento del nivel de transformación digital con respecto al escenario base.</div> <div>2. Hay un pequeño aumento de la Alineación estratégica no significativo con respecto al escenario base, es decir, que las condiciones actuales son favorables para las empresas que lo tienen definido.</div> <div>3. Incremento mínimo de la empresa-Clúster, para Gestión de la digitalización e Implementación digital, pero se mantienen con un comportamiento decreciente.</div>	<div>Las condiciones actuales de Alineación estratégica son favorables para las empresas que lo tienen definido, pero es importante trabajar en acciones encaminadas a fortalecer la alineación estratégica de las empresas que aún no lo tienen y a establecer una adecuada alineación de objetivos digitales</div> <div>pertenecer al Clúster. Por su parte, no es suficiente trabajar solo en este factor para mejorar el resto de los factores y la transformación digital, de forma</div>
---	-------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



			significativa. La Alineación estratégica se enfoca en la definición de objetivos digitales claros y a alienación empresa-Clúster de estos.
2	Gestión de la digitalización	<p>1. Aumento significativo del nivel de transformación digital y la alineación estratégica a lo largo del tiempo, debido a una fuerte influencia de la gestión de la digitalización.</p> <p>2. Fuerte influencia de la Gestión de la digitalización en sí mismo, ocasionando un cambio de decreciente a creciente.</p> <p>3. Fuerte influencia de la Gestión de la digitalización en la Implementación digital. El factor continúa decreciente pero un poco más estabilizado a lo largo del tiempo, es decir, la capacidad no llega a cero.</p>	<p>Implementar acciones sobre la Gestión de la digitalización impacta de forma positiva en todos los factores, especialmente en la Transformación digital, la Alineación estratégica y en sí mismo, haciendo falta un mayor impacto sobre la Implementación digital. La Gestión de la digitalización trabaja acciones que fortalecen capacidades, habilidades y concientización de las personas hacia la transformación digital, para combatir la resistencia al cambio. Además, el enfoque y desarrollo de proyectos de este</p>

---

tipo, considerando la inversión como parte importante para el desarrollo de acciones.

---

3	Implementación digital	<p>1. Aumento del nivel de Transformación digital y la Alineación estratégica a lo largo del tiempo, demostrando una influencia favorable de la implementación digital. Sin embargo, la influencia no es tan significativa como la Gestión de la digitalización.</p> <p>2. Influencia positiva de la Implementación digital en la Gestión de la digitalización y</p>	<p>Impacta todos los factores, pero solo de forma representativa la Alineación estratégica y la Transformación digital, haciendo falta fortalecer las capacidades de Gestión de Digitalización con la Implementación Digital. Esto quiere decir que no es suficiente solo adquirir nuevas tecnologías para garantizar una completa Transformación digital, es</p>
---	------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

		<p>en si misma. Continúan necesario alinearlos a otras</p> <p>decreciendo ambos factores, estrategias digitales</p> <p>pero un poco más estabilizado complementarias. La Gestión de</p> <p>a lo largo del tiempo, es decir, la digitalización trabaja acciones</p> <p>la capacidad no llega a cero. enfocadas a nuevas tecnologías,</p> <p>conocimientos y herramientas</p> <p>de Industria 4.0, enfocado en</p> <p>procesos internos (operaciones,</p> <p>financieros y comerciales) y</p> <p>externos (enfocado en clientes).</p>	
4	<p>Alineación</p> <p>estratégica -</p> <p>Gestión de la</p> <p>digitalización</p>	<p>1. Pequeño aumento del nivel de Transformación digital con</p> <p>respecto al escenario 2, el cual</p> <p>se enfocó solo en la Gestión de</p> <p>la digitalización.</p> <p>2. Se mantiene el</p> <p>comportamiento del escenario</p> <p>2 para los 3 factores, con un</p> <p>pequeño aumento dado por la</p> <p>Alineación estratégica.</p>	<p>La combinación de las</p> <p>estrategias enfocadas en</p> <p>Alineación estratégica y Gestión</p> <p>de la digitalización no son</p> <p>suficientes para impactar todos</p> <p>los factores de forma creciente,</p> <p>faltando la implementación</p> <p>digital.</p>

5	Gestión de la digitalización - Implementación digital	<p>1. Comportamiento igual al escenario 4 respecto al nivel de transformación digital.</p> <p>2. Se mantiene el comportamiento de la Alineación estratégica y la Gestión de la digitalización del escenario 2, con un resultado similar.</p> <p>3. Cambio del comportamiento decreciente a creciente de la implementación digital. Se evidencia este cambio en la combinación de acciones de Gestión de la digitalización e Implementación digital.</p>	<p>La combinación de las estrategias enfocadas en Gestión de la digitalización e Implementación digital son suficientes para impactar todos los factores y el nivel de transformación digital.</p>
6	Alineación estratégica - Gestión de la digitalización - Implementación	<p>1. Aumento del nivel de transformación digital, con una diferencia de 2 años con respecto al escenario 5.</p> <p>2. Se mantiene el comportamiento del escenario 5 para todos los factores, con 2</p>	<p>Adicionar acciones de Alineación estratégica en el escenario 5 (acciones de Gestión de la digitalización e implementación digital), ayuda a tener los mismos resultados positivos 2 años más temprano.</p>

---

años de diferencia en la  
obtención de resultados.

---

*Fuente: Elaboración propia.*

---

Al analizar cada uno de los escenarios con sus resultados en el nivel de Transformación digital y los factores, se observa que los escenarios que se encuentran enfocados en un solo factor para el desarrollo de la estrategia (escenarios 1,2 y 3) muestran mejores resultados en el desarrollo del factor específico y pequeños resultados de avance en otros factores. Para este caso, el escenario 2 enfocado en la Gestión la digitalización refleja mejores resultados que el trabajo independiente de los otros dos factores, debido a que el segundo escenario impacta a todos los factores de forma significativa. Sin embargo, continúa siendo un reto el desarrollo del factor de implementación digital.

En los escenarios donde se combinan dos de los enfoques de estrategia (4 y 5), se observa un mejor resultado en el escenario de Gestión de la digitalización e Implementación digital, debido a que hay un impacto positivo en todos los factores, especialmente en la implementación digital la cual cambia a un estado creciente. Sin embargo, el escenario 6 propone trabajar los tres factores permitiendo tener los mismos resultados en un periodo de tiempo mas cercano. Este ultimo escenario evidencia la importancia de la Alineación estratégica para acelerar los procesos de digitalización.

De acuerdo con estos resultados se puede interpretar que un factor importante a trabajar es la Gestión de la digitalización seguido de la Implementación digital, y se puede acelerar el

proceso con un enfoque de Alineación estratégica. En la siguiente tabla se concluye el enfoque de trabajo de cada factor, la cual será un punto de partida para la definición de la propuesta del plan de acción. (Tabla 17)

*Tabla 17. Enfoque de acciones por factor.*

Factor	Enfoque de acciones
<b>Alineación estratégica</b>	Definición de objetivos digitales claros, especialmente las empresas que aun no lo tienen definido; Y alienación empresa-Clúster de estos objetivos.
<b>Gestión de la digitalización</b>	Acciones que fortalecen capacidades, habilidades y concientización de las personas hacia la transformación digital, para combatir la resistencia al cambio. Además, el enfoque y desarrollo de proyectos de digitalización, considerando la inversión como parte importante para el desarrollo.
<b>Implementación digital</b>	Acciones enfocadas a nuevas tecnologías, conocimientos y herramientas de Industria 4.0, en procesos internos (operaciones, financieros y comerciales) y externos (enfocado en clientes).

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Construcción de la propuesta del plan de acción**

La construcción de la propuesta del plan de acción tuvo como punto de partida los resultados del modelo y el enfoque de acciones definidos en la Tabla 17. Adicionalmente, partiendo de la necesidad de pertinencia de las acciones del plan de acción, se convocaron 3 gerentes de empresas conocedoras de Transformación digital y con experiencia en el desarrollo de proyectos alineado a las necesidades identificadas en el estudio de la Iniciativa Clúster. Estas empresas fueron: Magus App, plataforma tecnológica que brinda a sus usuarios una experiencia de aprendizaje virtual utilizando herramientas de gamificación para estimular la motivación al crecimiento profesional; FontuMi, plataforma en la nube que permite brindar nuevos canales de comunicación con clientes utilizando diferentes herramientas tecnológicas; CONTACTA, empresa que ofrece un servicio enfocado a la integración de canales de contacto digital, virtual y tradicional para fortalecer las relaciones de las empresas con sus clientes.

A estas empresas se les hizo una socialización de resultados del modelo y los enfoques de trabajo de acciones, para contextualizar el estudio y ser mas pertinente en la proposición de estrategias. Luego se desarrollaron pequeñas reuniones para la generación de propuestas, que posteriormente se aterrizaron y consolidaron en el plan de acción.

De la Tabla 18 a la 20 se observa el listado de acciones, factores y subfactor a los cuales se encuentra alineado cada acción, teniendo en cuenta su objetivo y alcance. Por su parte, en la Tabla 21 se observa el plan de acción que nace como propuesta a las necesidades identificadas en los resultados del modelo. Es importante indicar que, de acuerdo con los resultados el desarrollo de las acciones es teniendo en cuenta su nivel de importancia, el cual esta dado por la influencia de los factores en los resultados obtenidos en los escenarios, siendo primero la Gestión de

digitalización seguido de Implementación digital, y posteriormente la Alineación estratégica.

Este nivel de importancia puede ser ajustado acorde a las necesidades inmediatas que considere la Iniciativa Clúster.

*Tabla 18. Relación de acciones, factores Implementación digital y subfactores.*

Acciones	Implementación digital		
	Digitalización de procesos de cara al cliente	Digitalización de procesos	Integración de procesos
Taller de formación en caracterización de clientes para su gestión.	X		
Alianzas con empresas de CRM, E-commerce y servicios de omnicanalidad para la gestión de clientes.	X		
Realizar una plataforma de integración de la oferta de las empresas del clúster.	X		



Rueda de negocio virtual.	X
Alianzas con empresas de ERP, BPM, Gestión Documental, e-learning, Fabricas de software, para mejor oferta de precios, acompañamiento y formación.	X
Taller de formación en Suites Cloud para el trabajo, como office 365 o Google Workspace.	X
Mesas de trabajo 4.0 para construcción de un banco de proyectos de transformación digital que incluya enfoques de IoT, machine learning, analítica de datos, entre otras tecnologías de Industria 4.0.	X

Formación en estrategias y herramientas de Business Analytics.		X
Proyecto Open data del sector para compartir datos públicos.		X
Misión exploratoria y/o tecnológica con un referente internacional, para estudio de caso de éxito en transformación digital.		
Página web de la Iniciativa Clúster y canales digitales como complemento, donde se den a conocer casos de éxito y desarrollo de proyectos sobre transformación digital del sector, siendo un canal de divulgación de información y promoción de iniciativas.	X	X

Formación para el teletrabajo y herramientas tecnológicas para fortalecer la productividad y comunicación.	X
Programa de formación en nuevos soft-skills.	
Cursos de preparación para certificación en marcos de trabajo.	
Evento virtual para compartir a otras empresas de la Iniciativa Clúster casos de éxito de proyectos de transformación digital y socializar resultados parciales de acciones de Clúster hacia la transformación.	

---

Convocatoria para acceso a  
asesorías personalizadas en  
digitalización.

---

Acompañamiento en la  
formulación de proyectos para  
convocatorias de innovación  
con un enfoque en  
transformación digital.

---

Formación en TIC para cargos  
gerenciales.

---

Diseño de un modelo de  
Arquitectura empresarial para  
empresas del Clúster  
(TOGAF).

---

Diseño de un modelo de  
gobierno de TI para empresas  
del Clúster (COBIT)

---

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Relación de acciones, factor Gestión de la digitalización y subfactores.

Acciones	Gestión de la digitalización		
	Capital humano capacitado	Disposición organizacional	Desarrollo de proyectos
Taller de formación en			
caracterización de clientes para su gestión.	X		
Alianzas con empresas de CRM, E-commerce y servicios de omnicanalidad para la gestión de clientes.	X		
Realizar una plataforma de integración de la oferta de las empresas del Clúster.			X
Rueda de negocio virtual.			
Alianzas con empresas de ERP, BPM, Gestión Documental, e-learning, Fabricas de software, para mejor oferta de precios, acompañamiento y formación.	X		

Taller de formación en Suites

Cloud para el trabajo, como

office 365 o Google X

Workspace.

Mesas de trabajo 4.0 para

construcción de un banco de

proyectos de transformación

digital que incluya enfoques de

X

IoT, machine learning, analítica

de datos, entre otras tecnologías

de Industria 4.0.

Formación en estrategias y

herramientas de Business

X

Analytics.

Proyecto Open data del sector

X

para compartir datos públicos.

Misión exploratoria y/o

tecnológica con un referente X

X

X

internacional, para estudio de

caso de éxito en transformación  
digital.

Página web de la Iniciativa

Clúster y canales digitales como  
complemento, donde se den a  
conocer casos de éxito y  
desarrollo de proyectos sobre  
transformación digital del  
sector, siendo un canal de  
divulgación de información y  
promoción de iniciativas.

X

Formación para el teletrabajo y  
herramientas tecnológicas para  
fortalecer la productividad y  
comunicación.

X

Programa de formación en  
nuevos soft-skills.

X

Cursos de preparación para  
certificación en marcos de  
trabajo.

X

X

Evento virtual para compartir a  
otras empresas de la Iniciativa  
Clúster casos de éxito de  
proyectos de transformación  
digital y socializar resultados  
parciales de acciones del  
Clúster hacia la transformación.

X

X

Convocatoria para acceso a  
asesorías personalizadas en  
digitalización.

X

X

Acompañamiento en la  
formulación de proyectos para  
convocatorias de innovación  
con un enfoque en  
transformación digital.

X

X



Formación en TIC para cargos

gerenciales.

X

X

Diseño de un modelo de

Arquitectura empresarial para

empresas del Clúster (TOGAF).

Diseño de un modelo de

gobierno de TI para empresas

del Clúster (COBIT).

---

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 20. Relación de acciones, factor Alineación estratégica y subfactores.*

Acciones	Alineación estratégica		
	Enfoque estratégico	Gobernabilidad sobre los procesos	Disposición de inversión TI
Taller de formación en caracterización de clientes para su gestión.			
Alianzas con empresas de CRM, E-commerce y servicios de omnicanalidad para la gestión de clientes.			X

Realizar una plataforma de  
integración de la oferta de las  
empresas del Clúster.

Rueda de negocio virtual.

Alianzas con empresas de ERP,  
BPM, Gestión Documental, e-  
learning, Fabricas de software,  
para mejor oferta de precios,  
acompañamiento y formación.

X

Taller de formación en Suites  
Cloud para el trabajo, como  
office 365 o Google Workspace.

Mesas de trabajo 4.0 para  
construcción de un banco de  
proyectos de transformación  
digital que incluya enfoques de  
IoT, machine learning, analítica  
de datos, entre otras tecnologías  
de Industria 4.0.

X

Formación en estrategias y  
herramientas de Business  
Analytics.

X

Proyecto Open data del sector  
para compartir datos públicos.

Misión exploratoria y/o  
tecnológica con un referente  
internacional, para estudio de  
caso de éxito en transformación  
digital.

X

Página web de la Iniciativa  
Clúster y canales digitales como  
complemento, donde se den a  
conocer casos de éxito y  
desarrollo de proyectos sobre  
transformación digital del sector,  
siendo un canal de divulgación de  
información y promoción de  
iniciativas.

Formación para el teletrabajo y  
herramientas tecnológicas para  
fortalecer la productividad y  
comunicación.

Programa de formación en  
nuevos soft-skills.

Cursos de preparación para  
certificación en marcos de  
trabajo.

Evento virtual para compartir a  
otras empresas de la Iniciativa

Clúster casos de éxito de  
proyectos de transformación  
digital y socializar resultados  
parciales de acciones del Clúster  
hacia la transformación.

X

Convocatoria para acceso a  
asesorías personalizadas en  
digitalización.

X

Acompañamiento en la  
formulación de proyectos para  
convocatorias de innovación con  
un enfoque en transformación  
digital.

X

Formación en TIC para cargos  
gerenciales.

X

Diseño de un modelo de

Arquitectura empresarial para  
empresas del Clúster (TOGAF).

X

X

Diseño de un modelo de gobierno

de TI para empresas del Clúster

X

X

(COBIT).

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla 21. Propuesta de plan de acción.*

Acciones	Actividades	Nivel de importancia	Indicador	Meta
<b>Taller de formación en caracterización de clientes para su gestión.</b>	1. Convocar a las universidades de la Iniciativa Clúster para su participación en el programa de formación.			30% de las empresas
	2. Realizar una mesa de trabajo con las universidades a participar para definir el contenido del taller de formación, el cual debe ayudar a las empresas a construir su Buyer Person, Customer Funnel, Customer journey map, Canvas mapa de empatía, y propuesta de valor.	Medio - Alto	Porcentaje de participantes formados por taller de caracterización de clientes.	activas en la Iniciativa Clúster, con por lo menos 1 participante por cada empresa.
	3. Desarrollar sesiones virtuales y/o presenciales del taller de			

formación.

4. Realizar una sesión final para la socialización de los avances más significativos en el desarrollo práctico de las empresas.

	1. Caracterizar a la Iniciativa Clúster con respecto al factor específico de la gestión de clientes.	
<b>Alianzas con empresas de CRM, E-commerce y servicios de omnicanalidad para la gestión de clientes.</b>	<p>2. Realizar grupos focales para Identificar las brechas de oportunidad en el área de gestión de clientes.</p> <p>3. Realizar un análisis de empresas de CRM, E-commerce y servicios de omnicanalidad revisando sus ventajas, desventajas y alcance.</p> <p>4. Realizar una mesa de trabajo para determinar las empresas de CRM, E-commerce y servicios de</p>	<p>Número de convenios a partir de 3 convenios vigentes en el año generadas para la gestión de clientes</p> <p>Medio - Alto alianzas</p>

	omnicanalidad acorde a las necesidades actuales de la Iniciativa Clúster.	
	5. Convocar reuniones de negociación con estas empresas para consolidar una alianza donde exista una mejor oferta de precios, acompañamiento y formación.	
<b>Realizar una plataforma de integración de la oferta de las empresas del Clúster.</b>	1. Realizar una mesa de trabajo con las empresas de la Iniciativa Clúster donde se caracterice el cliente.	
	2. Realizar una mesa de trabajo para definir el alcance de la plataforma, y la intervención de proveedores.	Número de 1 plataforma
	3. Implementar herramientas de Medio - Alto estructuración y gestión de proyectos para la formulación de la propuesta.	plataformas de de integración integración implementadas 70% de los
	5. Identificar convocatorias nacionales e internacionales para la co-financiación de recursos.	Número de actores actores participantes en plataforma Clúster

	4. Desarrollar sesiones para la definición del producto.		
	5. Desarrollar el producto.		
	6. Implementar el producto, desarrollar un programa que garantice la sostenibilidad y su manejo.		
	<hr/>		
	1. Definir objetivo y alcance de rueda de negocio (local, nacional o internacional, si va a ser multisectorial, y si van a participar proveedores).	Número de ruedas de negocios virtual	1 rueda de negocio virtual al año
<b>Rueda de negocio virtual</b>	2. Definir fecha y duración del evento de forma estratégica, Medio garantizando que no haya eventos de esta misma índole.	Porcentaje de empresas participantes de la Iniciativa	50% empresas participantes de la Iniciativa
	3. Definir plataforma de la rueda de negocio, acorde al objetivo.	Clúster	Clúster
	4. Definir logística del evento.		
	5. Abrir convocatoria y seleccionar		
	<hr/>		



participantes para el envío de la invitación.

6. Desarrollar rueda de negocio.

<b>Alianzas con empresas de ERP, BPM, Gestión Documental, e-learning, Fabricas de software, para mejor oferta de precios, acompañamiento y formación.</b>	1. Caracterizar a la Iniciativa Clúster con respecto al factor específico de digitalización de procesos operacionales.		
	2. Realizar grupos focales para Identificar las brechas de oportunidad en esta área.		
	3. Realizar un análisis de empresas de ERP, BPM, Gestión Documental, e-learning, Fabricas de software, revisando sus ventajas, desventajas y alcance.		
	4. Realizar una mesa de trabajo para determinar las empresas para la alianza y los servicios necesarios acorde a las necesidades actuales de		
		Número de convenios a partir de alianzas generadas	3 convenios vigetes en el año

Medio - Alto

[illegible]

---

4. Realizar una sesión final para la socialización de los avances más significativos en el desarrollo práctico de las empresas.

---

**Mesas de trabajo 4.0 para construcción de un banco de proyectos de transformación digital que incluya enfoques de IoT, machine learning, analítica de datos, entre otras tecnologías de Industria 4.0.**

1. Identificar retos o áreas de oportunidad en los procesos operacionales de las empresas de la Iniciativa Clúster, con respecto a las oportunidades de implementación de tecnologías Industria 4.0.
2. Reuniones grupales y/o individuales con empresas y actores Alto de Clúster para caracterizar las necesidades.
3. Realizar mesas de trabajo con personal experto en transformación digital e Industria 4.0, para el cierre de brechas.
4. Implementar herramientas de

Número de  
propuestas de  
proyectos  
definidas

5 propuestas  
de proyectos  
al año

	estructuración y gestión de proyectos para la formulación de la propuesta.		
	5. Identificar convocatorias nacionales e internacionales para la co-financiación de recursos.		
<b>Formación en estrategias y herramientas de Business Analytics.</b>	1. Convocar a las universidades de la Iniciativa Clúster para su participación en el programa de formación.	Porcentaje de participantes formados por taller de estrategias y herramientas de Business Analytics.	30% de las empresas activas en la Iniciativa Clúster, con por lo menos 1 participante por cada empresa.
	2. Realizar una mesa de trabajo con las universidades a participar para definir el contenido del taller de formación, el cual debe ayudar a que las empresas a definir áreas de trabajo con estas herramientas para ayudar a la toma de decisiones.	Medio - Alto	
	3. Desarrollar sesiones virtuales y/o presenciales del taller de formación.		

	<p>4. Realizar una sesión final para la socialización de los avances más significativos en el desarrollo práctico de las empresas.</p>		
	<p>1. Hacer una revisión de casos de éxito de open data en otros sectores de Colombia y en el mismo sector en otros países.</p> <p>2. Realizar meses de trabajo para la identificación de oportunidades en el desarrollo de open data, el alcance, objetivo, e información a compartir.</p> <p>3. Implementar herramientas de estructuración y gestión de proyectos para la formulación de la propuesta.</p> <p>4. Identificar convocatorias nacionales e internacionales para la</p>		
<p><b>Proyecto Open data del sector para compartir datos públicos.</b></p>	<p>Medio - Alto</p>	<p>Número de proyectos open data del sector</p>	<p>1 proyecto open data del sector</p>

5. Desarrollar el producto y la estructura de manejo estratégico desde la Iniciativa Clúster.

1. Identificación de principales actores y países con experiencia en Industria 4.0 en el sector Metalmecánico.
2. Escoger referente internacional e iniciar diálogos para la misión exploratoria.
3. Contruir en conjunto con la referente internacional el plan de trabajo en la misión.
4. Hacer convocatoria abierta para empresas y/o instituciones del sector.
5. Realizar la misión exploratoria.

Número de	1 misión
misiones	internacional
internacionales	cada 2 años

6. Validación de resultados de la  
misión en mesas de trabajo.

<b>Página web de la Iniciativa Clúster y canales digitales como complemento, donde se den a conocer casos de éxito y desarrollo de proyectos sobre transformación digital del sector, siendo un canal de divulgación de información y</b>	1. Realizar mesas de trabajo para		
	definir claramente el alcance de la		
	página, contenido a manejar,		
	posibles módulos y la estructura de		
	su administración (manejo,		
	estrategia, personal encargado).		
	2. Definir canales digitales		
	adicionales que complementen la		
	estrategia.	Medio - Alto	Número de
			páginas web
	3. Definir proveedor para el		
	desarrollo de la plataforma y		
	canales digitales.		
	4. Trabajar de la mano con el		
	proveedor el desarrollo.		
	5. Realizar lanzamiento de la		
	página web y canales digitales,		
			1 página
			web del
			Clúster

---

**promoción de** dándolo a conocer en el Clúster, los

**iniciativas.** clientes y cadena de valor.

---

<b>Formación para el teletrabajo y herramientas tecnológicas para fortalecer la productividad y comunicación.</b>	1. Convocar a las universidades de		
	la Iniciativa Clúster para su		
	participación en el programa de		30% de las
	formación.		empresas
	2. Realizar una mesa de trabajo con	Porcentaje de	activas en la
	las universidades a participar para	participantes	Iniciativa
	definir el contenido del taller de	formados en	Clúster, con
	formación, el cual debe ayudar a	Medio - Alto	por lo
	que las empresas a identificar	herramientas	menos 1
	oportunidades de teletrabajo y	tecnológicas	participante
	capacitar en el uso de herramientas		por cada
	para la adaptación del trabajo.		empresa.
	3. Desarrollar sesiones virtuales y/o		
	presenciales del taller de		

---



<hr/>			
formación.			
4. Realizar una sesión final para la			
socialización de los avances más			
significativos en el desarrollo			
práctico de las empresas.			
<hr/>			
<b>Programa de formación en nuevos soft-skills.</b>	1. Convocar a las universidades de		
	la Iniciativa Clúster para su		
	participación en el programa de		30% de las
	formación.		empresas
	2. Realizar una mesa de trabajo con		activas en la
	las universidades a participar para	Porcentaje de	Iniciativa
	definir el contenido del taller de	participantes	Clúster, con
	formación acorde a nuevos soft-	formados en	por lo
	skills, para los nuevos puestos de	soft-skill	menos 1
	trabajo.		participante
3. Desarrollar sesiones virtuales y/o			
presenciales del taller de			
formación.			
4. Realizar una sesión final para la			

	30% de las
Porcentaje de	empresas
participantes	activas en la
en curso de	Iniciativa
preparación	Clúster, con
para	por lo
certificación	menos 1
en marcos de	participante
trabajo.	por cada
	empresa.

donde se dé a conocer el alcance de estas certificaciones, ventajas, beneficios y aplicación.

5. Hacer una convocatoria de inscripción de las empresas/profesionales interesadas en la preparación.

6. Desarrollar sesiones virtuales y/o presenciales de los cursos de preparación para la certificación.

7. Acompañar a las empresas/profesionales en el proceso de inscripción al examen de certificación.

<b>Evento virtual para compartir a otras empresas de la Iniciativa Clúster casos de éxito de proyectos de transformación digital y</b>	1. Definir objetivo y alcance del evento (local, nacional o internacional).	Número de participantes en evento virtual	70% de las empresas activas de la
	2. Definir fecha y duración del evento de forma estratégica, Alto garantizando que no haya eventos de esta misma índole.		Iniciativa Clúster con por lo menos 1 participante,
	3. Definir plataforma del evento acorde al objetivo y alcance.		y 20

<b>socializar</b>	4. Definir logística del evento y	participantes
<b>resultados</b>	presentaciones (conferencistas	externos.
<b>parciales de</b>	externos, académicos, empresas de	
<b>acciones del</b>	casos éxito aplicado al Clúster).	
<b>Clúster hacia la</b>	5. Abrir convocatoria para el envío	
<b>transformación.</b>	de la invitación.	
	7. Desarrollar del evento.	
	1. Convocar a las universidades de	
	la Iniciativa Clúster para su	
	participación en el desarrollo	
	asesorías.	
	2. Definir las universidades	
<b>Convocatoria</b>	capacitadas en brindar asesorías de	
<b>para acceso a</b>	digitalización.	Número de 3 empresas
<b>asesorías</b>	3. Solicitar a las universidades Alto	empresas asesoradas
<b>personalizadas</b>	seleccionadas una ruta o plan de	asesoradas al año
<b>en digitalización.</b>	asesoría.	
	4. Definir los términos de la	
	convocatoria para la asesoría de	
	empresas de la Iniciativa Clúster.	
	5. Realizar invitación a las	
	empresas de la Iniciativa Clúster a	

6. Desarrollo del proceso de selección de empresas beneficiarias de asesorías personalizadas.
7. Desarrollo de asesorías.

1. Convocatoria de personal de universidades y expertos para la conformación de un equipo de formulación de proyectos en transformación digital.
2. Seleccionar el personal experto en formulación de proyectos, innovación y transformación digital.
3. Crear un proceso para la solicitud del acompañamiento en formulación de proyectos por parte de las empresas de la Iniciativa Clúster.

Número de	
proyectos	3 proyectos
formulados a	formulados
través del	al año
Clúster	

	<p>4. En una reunión y a través de los canales de comunicación constituidos en la Iniciativa Clúster, dar a conocer a las empresas la disponibilidad de estos aliados y el proceso de solicitud para la formulación de proyectos.</p> <p>5. Desarrollar proceso de formulación e identificar convocatorias acordes al proyecto.</p>	
	<p>1. Convocar a las universidades de la Iniciativa Clúster para su participación en el programa de formación.</p> <p>2. Realizar una mesa de trabajo con las universidades a participar para definir el contenido del taller de formación acorde al público objetivo, que son cargos gerenciales.</p> <p>3. Oferta de los cursos y matrícula de las personas interesadas.</p> <p>4. Desarrollar sesiones virtuales y/o</p>	<p>30% de las empresas activas en la</p> <p>Porcentaje de participantes formados en TIC</p> <p>Iniciativa Clúster, con por lo menos 1 participante por cada empresa.</p>

	presenciales del taller de formación.		
	5. Realizar una sesión final para la socialización de los avances más significativos en el desarrollo práctico de las empresas.		
	1. Análisis del modelo TOGAF.		
	2. Identificación y adaptación de las fases del marco de trabajo TOGAF para la implementación en las empresas de la Iniciativa Clúster.		
<b>Diseño de un modelo de Arquitectura empresarial para empresas del clúster (TOGAF)</b>	3. Divulgación de modelo TOGAF para empresas de la Iniciativa Clúster.	Bajo	Número de modelos de arquitectura empresarial diseñados
	4. Acompañamiento en la adaptación del modelo.		1 modelo diseñado de Arquitectura empresarial

---

<b>Diseño de un modelo de gobierno de TI para empresas del Clúster (COBIT)</b>	1. Análisis del modelo COBIT.		
	2. Identificación y adaptación de las fases del marco de trabajo COBIT para la implementación en las empresas de la iniciativa del Clúster.	Bajo	Número de 1 modelo
	3. Divulgación de modelo COBIT para empresas de la Iniciativa Clúster.		modelos de diseñado de gobierno de TI Gobierno de TI
	4. Acompañamiento en la adaptación del modelo.		diseñados TI

---

*Fuente: Elaboración propia.*



### **Trabajos futuros**

Como complemento al desarrollo de esta investigación, se sugiere trabajar para futuras investigaciones en dos aspectos claves que brindan un panorama más completo del modelo de Transformación digital:

1. Incluir factores externos, como políticas gubernamentales, las relaciones con la cadena de valor y/o demás eslabones del Clúster, necesidades del cliente, riesgos en la digitalización, entre otros.
2. Evaluar de forma independiente cada factor de la Transformación digital, involucrando variables mas específicas relacionadas con las acciones que fortalecen la digitalización.

Adicionalmente, podría evaluarse un papel mas activo del cambio tecnológico en los resultados de Transformación digital, teniendo en cuenta diferentes tecnologías de Industria 4.0.

## Conclusiones

La investigación realizada permitió observar que hoy día existen algunas iniciativas del estudio de la Transformación digital e Industria 4.0 utilizando dinámica de sistemas bajo diferentes contextos, teniendo en cuenta que se trata de una herramienta que permite analizar relaciones causales en un sistema y su comportamiento en el tiempo. Esto ultimo resulta ser de provecho a la hora de evaluar modelos y resultados de conceptos nuevos, como lo es la Industria 4,0, la transformación digital o el comportamiento de nuevas tecnologías en escenarios de colaboración.

El desarrollo metodológico propuesto en el proyecto permitió tener como resultados un modelo de dinámica de sistemas sobre el nivel de Transformación digital aplicado en la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico, partiendo de la necesidad puntual del Clúster de definir adecuadamente una ruta o acciones a seguir alineados a la estrategia competitiva Industria 4.0. Por lo cual fue necesario tres fases de trabajo: 1. Diagnóstico de la Transformación digital como base de la estrategia Industria 4.0; 2. Modelación de la Transformación digital para análisis de escenarios encaminados a la estartegia Industria 4.0; 3. Propuesta de Plan de acción para la Transformación digital en el marco de la estrategia competitiva Industria 4.0.

El obojtivo de la fase 1 fue entender el sistema de estudio a partir de la definición de factores y subfactores de transformación digital. Además, se estudió la ponderación de importancia e influencia de estos factores, dejando claro un enfoque preliminar para el desarrollo del esquema causal del modelo. Aplicando Analytic Hierarchy Process (AHP) se obtuvo que el factor mas importante era la Alineación estratégica (alrededor del 50% de importante en la Transformación digital), donde el subfactor que predominaba se trataba del enfoque estratégico.

Para el caso de los factores de Implementación digital y Gestión de la digitalización sus pesos de importancia fueron similar (alrededor del 22%), y los subfactores mas importantes de cada uno fueron Digitalización de procesos de cara el cliente y Capital humano capacitado, respectivamente. Estos resultados influyeron a la hora de definir escenarios para el modelo y las propuestas del plan de acción.

Para el caso de Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), los resultados hacia la influencia de los factores mostraron un comportamiento de interdependencia entre Alineación estratégica y la Gestión de la digitalización, y un comportamiento receptor de la Implementación digital; resultado que fue importante en la definición de la estructura causal del modelo, al igual que el análisis de este tipo de comportamiento para los subfactores. Luego, partiendo del objetivo de la primera fase, que se trataba de realizar un diagnóstico de la Transformación digital se aplico un instrumento diagnóstico suministrado por el Programa de Transformación productiva (PTP), llamado hoy Colombia productiva. Este diagnóstico permitió tener información del estado base del caso aplicado de estudio, y poder comparar resultados a partir de cambios en las variables del modelo. Los resultados de esta fase muestran el nivel actual de Transformación digital de 1,9 de 5, el cual esta dado por el resultado de los factores y subfactores. De los subfactores se destacan positivamente resultados en la Disposición organizacional, lo cual se traduce en el interés de las empresas del Clúster en hacer cambios para mejorar la Transformación Digital; y se considera importante trabajar el enfoque estratégico, mostrando falencias en una clara definición y alineación de objetivos. Los resultados de importancia de factores y subfactores, y el diagnóstico del Nivel de Transformación digital, muestran estrecha relación con los resultados del modelo y el enfoque de análisis realizado, además, que fueron importantes a la hora de definir las acciones.

En la segunda fase, se tomo como base las relaciones de influencia de los resultados de DEMATEL y lo que establece la bibliografía para la construcción del diagrama causal e hipótesis dinámica. En el diagrama causal se agregaron factores externos que no fueron el foco de estudio de este modelo, como políticas gubernamentales, colaboración de aliados y/o cadena de valor, el riesgo de ciberseguridad, las necesidades del cliente, el desconocimiento a la Transformación digital y otros factores que estimulan la resistencia al cambio. Estos resultados ayudaron a entender el sistema y crear las bases para la formulación del modelo a través del diagrama de flujos y niveles; donde los niveles fueron los factores principales, los flujos estuvieron dados por los subfactores o variables auxiliares, y las constantes por el diagnóstico, resultados del AHP e información referente. Una vez validado el modelo, se definieron 6 escenarios para evaluar el mejor enfoque de trabajo de la Transformación digital. Los primeros 3 escenarios se relacionaron con cada uno de los factores específicos del modelo, en el siguiente orden: Alineación estratégica, Gestión de la digitalización, Implementación digital. Los siguientes dos escenarios combinaron los escenarios 1–2 y 2–3; y finalmente el sexto escenario tuvo en cuenta el desarrollo de los tres factores. Cada escenario incluía variaciones en las constantes de los subfactores para ver reflejado el enfoque de la estrategia y como este impacta en todo el sistema de Transformación digital.

Los resultados del modelo mostraron que los mejores escenarios fueron el 5 y el 6, donde el primero se enfocó en la estrategia que incluía los factores de Gestión de la digitalización e Implementación digital, y el segundo estos mismos adicionando la Alineación estratégica. En el escenario 6 se observo el mismo comportamiento del sistema del escenario 5, pero con resultados más rápidos que el otro escenario (2 años mas temprano); gracias a la inclusión de la Alineación estratégica como acción aceleradora del proceso de Transformación. Con esto los

resultados evidencian que la hipótesis planteada es correcta, debido a que existe un aumento en el nivel de la Transformación digital dado un fortalecimiento de los factores de Alineación estratégica, Gestión de la digitalización e Implementación digital.

Finalmente, en una tercera fase se hizo un análisis de escenarios para la identificación de las acciones más influyentes en el nivel de Transformación digital; el cual consistió en revisar los resultados más significativos de cada uno de los escenarios y llegar a unas conclusiones de aspectos positivos que dejó cada escenario y la oportunidad de trabajo a fortalecer; de tal manera que se identificara el orden de importancia a desarrollar las acciones. Como resultado se obtuvo que primero se deben desarrollar las acciones enfocadas a la Gestión de la digitalización, seguido de la Implementación digital, y finalmente la Alineación estratégica. Además, se definieron los enfoques de las acciones por cada uno de los factores, partiendo de las variables internas del modelo y los escenarios estipulados. Este resultado, fue el insumo para la definición de cada una de las acciones de la propuesta del plan de acción, la cual se desarrolló con la colaboración de 3 gerentes de empresas tecnológicas, haciendo una socialización de resultados y generando reuniones de trabajo para la formulación de propuestas.

Como resultado se obtuvo una propuesta de plan de acción que va acorde a las necesidades de la Iniciativa Clúster Metalmecánico del Atlántico, y que pretende orientar a las empresas en el proceso de Transformación digital a partir de una propuesta de ruta o acciones estratégicas liderada por el Clúster, para aprovechar la ventaja competitiva que este genera. Con este plan de acción la Iniciativa Clúster tiene un punto de partida para trabajar la estrategia competitiva de Industria 4.0, enfocándose en el desarrollo de acciones que apuntan a los tres factores de la Transformación digital y a fortalecer sus subfactores; proponiendo un orden en el desarrollo de las acciones, a partir de un nivel de importancia dado por el modelo.

### Referencias

- Abramovici, M., & Stark, R. (2013). *Smart Product Engineering*.
- ACOPI. (n.d.). Retrieved July 19, 2020, from <https://www.acopi.org.co/>
- Albrecht, J. (2015). *Digitale Transformation. Herausforderungen für Unternehmen im B2C Bereich*.
- Anastasiadis, F., & Tsolakis, N. (2018). *Digital Technologies Towards Resource Efficiency in the Agrifood Sector : Key Challenges in Developing Countries*.  
<https://doi.org/10.3390/su10124850>
- Aracil, J. (1995). *Publicaciones de Ingeniería de Sistemas: Dinámica de sistemas* (Isdefe (Ed.)).  
[http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30937935/Aracil\\_Gordillo\\_DS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1459994585&Signature=RWjAdKFm/D+Aeud+2RUzsgqpCmw=&response-content-disposition=inline;filename=Dinamica\\_de\\_sistemas.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30937935/Aracil_Gordillo_DS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1459994585&Signature=RWjAdKFm/D+Aeud+2RUzsgqpCmw=&response-content-disposition=inline;filename=Dinamica_de_sistemas.pdf)
- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas* (Alianza Editorial (Ed.)).
- Azhari, P., Faraby, N., Rossmann, A., Steimel, B., & Wichmann, K. S. (2014). Digital transformation report. *Neuland GmbH & Co. KG., Köln*.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210. <https://doi.org/10.1007/BF01305369>
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el futuro*.
- Batz, A., Kunath, M., & Winkler, H. (2018). DISCREPANCIES BETWEEN CLUSTER SERVICES AND SMES' NEEDS CONSTRAINING THE CREATION OF A CULTURE OF INNOVATION AMIDST INDUSTRY 4.0. *Scientific Journal of Logistics*, 14(3), 387–405.

- Bazsová, B. (2017). Evaluation of efficiency in insurance industry with use of balanced scorecard frame. *SMSIS 2017 - Proceedings of the 12th International Conference on Strategic Management and Its Support by Information Systems 2017*, 184–192.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85026292667&partnerID=40&md5=d68b7944359bfec7ecc28ba1147e42c5>
- Bedoya Olarte, T. (2019). *Transformación digital y la industria 4.0*.  
<http://hdl.handle.net/10902/17458>
- Belussi, F. (2015). The international resilience of Italian industrial districts/clusters (ID/C) between knowledge re-shoring and manufacturing off (near)-shoring. *Investigaciones Regionales – Journal of Regional Research*, 32, 89–113.
- Berghaus, S., & Back, A. (2016). Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study. *Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)*.  
<https://doi.org/10.1109/TWC.2011.121911.101960>
- Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy and Leadership*, 40(2), 16–24. <https://doi.org/10.1108/10878571211209314>
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482.
- Bouée, C. E. (2015). Digital transformation doesn't have to leave employees behind. *Harv. Bus. Rev*, 1–5.
- Braga Tadeu, H. F., de Castro Moura Duarte, A. L., Taurion, C., & Leal Jamil, G. (2019). Digital Transformation: Digital Maturity Applied to Study Brazilian Perspective for Industry 4.0. *Best Practices in Manufacturing Processes*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99190-0>
- Cano, J. (2018). La inevitabilidad de la falla y la transformación digital. *Sistemas*, 146, 57–64.

- Casado González, J. M. (2017). El rol del líder en la transformación digital. *Harvard Deusto Business Review*, 270.
- Casalet, M. (2018). La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. *Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95)*, Santiago, Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL).
- Casalino, N., & Draoli, M. (2010). A System Dynamics Model to Identify and Measure the Paper Digitization Advantages in Public Administration. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2404-9>
- Castellacci, F. (2018). Co-evolutionary growth: A system dynamics model. *Economic Modelling*, 70, 272–287. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.11.010>
- Chanias, S., & Hess, T. (2016). Understanding digital transformation strategy formation: Insights from Europe's automotive industry. *Pacific Asia Conference on Information Systems, PACIS 2016 - Proceedings*.
- CINTEL. (2016). *Transformación Digital - CINTEL - Proyectos TIC Innovadores*. [https://cintel.co/asesoria-y-consultoria-tecnologica/transformacion-digital/?gclid=EAIaIQobChMIysPkqp6W6gIVE3iGCh3u-A3wEAMYASAAEgKRx\\_D\\_BwE](https://cintel.co/asesoria-y-consultoria-tecnologica/transformacion-digital/?gclid=EAIaIQobChMIysPkqp6W6gIVE3iGCh3u-A3wEAMYASAAEgKRx_D_BwE)
- CONPES 3527. (2008). Documento conpes 3527 Política nacional de competitividad y productividad. *Departamento Nacional de Planeación*, 83. <https://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes/3527.pdf>
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>



- de Freitas Filho, J. M. (2018). Factores que impiden a los gestores de las empresas la aplicación del proyecto de Transformación Digital. In *Universidad Continental*.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers and Industrial Engineering*, 149(September), 106868.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Díaz-Martínez, M. A., Cruz-Méndez, A. L., & Ruiz-Domínguez, H. S. (2018). Instrumento de diagnóstico y autoevaluación para medir las condiciones organizacionales hacia la nueva revolución industrial 4.0. *RIIT. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 6(35).
- Douaioui, K., Fri, M., Mabrouk, C., & Semma, E. A. (2018). The interaction between industry 4.0 and smart logistics: Concepts and perspectives. *2018 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management, LOGISTIQUA 2018*, 128–132.  
<https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA.2018.8428300>
- Durán Pabón, I. M. (2019). Pacto por la transformación digital de Colombia: Gobierno, empresas y hogares conectados con la era del conocimiento. *Departamento Nacional de Planeación*.  
[https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-5271\\_Peti.pdf](https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-5271_Peti.pdf)
- EFI–Expertenkommission Forschung und Innovation. (2016). *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2016*, Berlin: EFI.
- Escudero, J., Delfín, L., & Arrano, R. (2014). EL DESARROLLO ORGANIZACIONAL Y LA RESISTENCIA AL CAMBIO EN LAS ORGANIZACIONES. *Ciencia Administrativa*, N° 1, 1. <https://www.uv.mx/iiesca/files/2014/09/01CA201401.pdf>
- Fontela, E., & Gabus, A. (1976). *The DEMATEL observer*.

- Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press Cambridge, MA, 2.
- Garavito, J. C., Perez Peña, N. L., & Munive Herrera, B. Ma. (2018). *Iniciativas clúster en Colombia*.
- García, G., & Rangel, J. (2001). Resistencia al Cambio Tecnológico en las organizaciones durante el desarrollo de un sistema de información en el área de Recursos Humanos. *Revista Sobre Relaciones Industriales y Laborales*, 69–90.  
<http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/rrii2/article/view/1216/1087%0Ahttp://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/rrii2/article/view/1216>
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. PwC.  
<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Ghadge, A., & Moradlou, H. (2020). *The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains*. 31(4), 669–686. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0368>
- Götz, M., & Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0—do they fit together? *European Planning Studies*, 25(9), 1633–1653. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1327037>
- Grigoryev, I. (2012). AnyLogic 6 in three days: a quick course in simulation modeling. *AnyLogic North America*.
- Hansen, R., & Sia, S. K. (2015). Hummel’s Digital Transformation Toward Omnichannel Retailing: Key Lessons Learned. *MIS Quarterly Executive*, 14(2).
- Heavin, C., & Power, D. J. (2018). Challenges for digital transformation—towards a conceptual decision support guide for managers. *Journal of Decision Systems*, 27, 38–45.  
<https://doi.org/10.1080/12460125.2018.1468697>
- Henriette, E., Feki, M., & Boughzala, I. (2016). Digital transformation and challenges.

*Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS).*

- Henriette, E., Feki, M., & Boughzala, I. (2015). THE SHAPE OF DIGITAL TRANSFORMATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW. *MCIS 2015 Proceedings*, 431–441. [https://hbr.org/webinar/2014/06/the-nine-elements-of-digital-transformation%0Ahttp://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=mcis2015&sei-redir=1&referer=https%253A%252F%252Fscholar.google.it%252Fscholar%253Fas\\_ylo%253D2013%2526q%253Ddig](https://hbr.org/webinar/2014/06/the-nine-elements-of-digital-transformation%0Ahttp://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=mcis2015&sei-redir=1&referer=https%253A%252F%252Fscholar.google.it%252Fscholar%253Fas_ylo%253D2013%2526q%253Ddig)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. In *Mc Graw Hill Education*.
- Hidayatno, A., Rahman, I., & Daniyasti, D. L. (2019). Conceptualizing the promise of industry 4.0 technology adoption: Case study of Indonesian automotive industry. *ACM International Conference Proceeding Series*, 334–338. <https://doi.org/10.1145/3364335.3364350>
- Hidayatno, A., Rahman, I., & Irminanda, K. R. (2019). A conceptualization of industry 4.0 adoption on textile and clothing sector in Indonesia. *ACM International Conference Proceeding Series*, 339–343. <https://doi.org/10.1145/3364335.3364351>
- Hwang, J. S. (2016). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): Intelligent Manufacturing. *SMT: Surface Mount Technology*, 31(7), 10–15. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=116680644&site=ehost-live>
- Iqbal, K., Khan, A., Flanagan, R., Lu, S., Iqbal, K., Khan, A., Flanagan, R., & Lu, S. (2016). *Managing information complexity using system dynamics on construction projects*. 6193(June). <https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1190026>

- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion*.
- Ketels, C., Lindqvist, G., & Sölvell, O. (2003). The cluster initiative greenbook. *Bromma Tryck AB. Stockholm*.
- Khakifirooz, M., & Fathi, F. (2019). A system dynamic approach for product lifecycle affected by industry 4.0. *Proceedings of International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE*.
- Khakifirooz, Marzieh, Cayard, D., Chien, C. F., & Fathi, M. (2018). A System Dynamic Model for Implementation of Industry 4.0. *2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), January 2019*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2018.8520101>
- Kireeva, A. A., & Tsoi, A. A. (2018). *Mechanisms for Forming IT-clusters as “Growth Poles” in Regions of Kazakhstan on the Way to “Industry 4.0.”* 11(2), 212–224. <https://doi.org/10.15838/esc.2018.2.56.14>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2014.12.001>
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). IMPULS - INDUSTRIE 4.0 READINESS. *Impuls-Stiftung Des VDMA*. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2010.02.038>
- Liebrecht, C., Kandler, M., Lang, M., Schaumann, S., Stricker, N., Wuest, T., & Lanza, G. (2021). Decision support for the implementation of Industry 4.0 methods: Toolbox, Assessment and Implementation Sequences for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 412–

430.

Lin, C. H., Tung, C. M., & Huang, C. T. (2006). Elucidating the industrial cluster effect from a system dynamics perspective. *Technovation*, 26(4), 473–482.

<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.11.008>

López Pintor, D. (2016). *Análisis de Casos de Estudio sobre Industria 4.0 y Clasificación según Sectores de Actividad y Departamentos Empresariales*.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/70721>

Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, 115–118. [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8_23)

Luengo Valderrey, M. J., Intxausti Irazabal, M. Á., & Periañez Cañadillas, I. (2012). Mejorar la competitividad mediante la colaboración interempresarial en el sector auxiliar de automoción. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 7(2), 915–926.

Luque, A., Peralta, M. E., De Las Heras, A., & Córdoba, A. (2017). State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector. *Procedia Manufacturing*, 13, 1199–1205.

Martin, R., & Sunley, P. (2011). Conceptualizing cluster evolution: Beyond the life cycle model? *Regional Studies*, 45(10), 1299–1318. <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.622263>

Martínez-Olvera, C., & Mora-Vargas, J. (2019). A comprehensive framework for the analysis of Industry 4.0 value domains. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10), 1–21.

<https://doi.org/10.3390/su11102960>

Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital Transformation Strategies. *Business and Information Systems Engineering*, 57(5), 339–343. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5>

- MetaIndustry4. (2016). *La Transformación Digital de la Industria del Metal Asturiana*.
- MinTIC. (2019). *Aspectos básicos de la Industria 4.0*.
- MinTIC. (2020a). *Acerca del MinTIC - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Ministerio/Acerca-del-MinTIC/>
- MinTIC, iNNpulsa Colombia, IDOM, & TecNALIA Colombia. (2018). *MODELO DE MADUREZ PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL*.
- MinTIC, M. de las T. y las T. (2020b). Plan Estratégico de Tecnologías de Información (PETI) de MinTIC 2019 - 2023. *Diario Oficial*, 57(1). [https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-5271\\_Peti.pdf](https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-5271_Peti.pdf)
- Morakanyane, R., Grace, A., & O'Reilly, P. (2017). Conceptualizing digital transformation in business organizations: A systematic review of literature. *30th Bled EConference: Digital Transformation - From Connecting Things to Transforming Our Lives, BLED 2017*, 427–444. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-043-1.30>
- Moreno Jiménez, J. M. (2002). EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO ( AHP ). FUNDAMENTOS, METODOLOGÍA Y APLICACIONES. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1, 28–77.
- Mosquera Ramírez, L. F., Andrade Alegría, D. J., & Sierra Martínez, L. M. (2013). Guía para apoyar la priorización de riesgos en la gestión de proyectos de tecnologías de la información. *Gerencia Tecnológica Informática*, 12(33), 15–32.
- Ochoa, O. L. (2016a). CULTURA DIGITAL: CONSTRUYENDO NUEVOS COMPORTAMIENTOS Y HÁBITOS EN LA ORGANIZACIÓN PARA MAXIMIZAR EL POTENCIAL DE LA TECNOLOGÍA/DIGITAL CULTURE: BUILDING NEW ORGANIZATIONAL BEHAVIORS AND HABITS TO MAXIMIZE THE POTENTIAL

OF TECHNOLOGY. *Boletín de Estudios Económicos*, 71(217), 71.

Ochoa, O. L. (2016b). Modelos De Madurez Digital: ¿En Qué Consisten Y Qué Podemos Aprender

De Ellos? *Boletín De Estudios Economicos*, LXXI(December 2016), 573–590.

Oliveras Diaz, G. (2016). *Diseño de un Modelo de Excelencia Operacional con soporte de la*

*Dirección y Gestión de Proyectos para la Industria 4.0.*

Oliveras Díaz, G. (2016). *Diseño de un Modelo de Excelencia Operacional con soporte de la*

*Dirección y Gestión de Proyectos para la Industria 4.0.*

Omogbai, O., & Salonitis, K. (2016). A Lean Assessment Tool Based on Systems Dynamics.

*Procedia CIRP*, 50, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.169>

Omogbai, O., & Salonitis, K. (2017). The Implementation of 5S Lean Tool Using System

Dynamics Approach. *Procedia CIRP*, 60, 380–385.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.057>

Otero, G. A., Salim, L., & Carbajal, R. (2006). Competitividad : marco conceptual y análisis

sectorial para la provincia de Buenos Aires. *Cuaderno de Economía.*

Park, S. C. (2017). The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster

policies. *AI & SOCIETY*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.1007/s00146-017-0777-5>

Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization

challenge: how to benefit from digitalization in practice. *International Journal of*

*Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77.

<http://www.sciencesphere.org/ijispm/archive/ijispm-0501.pdf#page=67>

Pérez Fernández, V., Salguero Gómez, J., Abad Fraga, F., Butrón Marín, A., & Marcos Bárcena,

M. (2017). Methodology for developing naval projects in the field of industry 4.0. *21th*

*International Congress on Project Management and Engineering*, July, 321–331.

- Pérez González, D., Solana-González, P., & Trigueros Preciado, S. (2018). Economía del dato y transformación digital en pymes industriales: Retos y oportunidades. *Economía Industrial*, 409, 37–45.
- Pérez Lara, M., Saucedo Martínez, J., Salais Fierro, T., & Marmolejo Saucedo, J. (2017). Caracterización de modelo de negocio en el marco de Industria 4.0. *Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CiLOG2016)*.
- Pineda Ballesteros, E. (2009). Modelado de cadenas productivas con dinámica de sistemas. *Revista de Investigaciones UNAD*, 8(2), 151. <https://doi.org/10.22490/25391887.640>
- Porter, M. E. (1998). Clusters and the New Economics of Competition. *Harvard Business Review*, November-December, 77–90. <https://doi.org/10.1042/BJ20111451>
- Programa de Transformación Productiva PTP. (2015). Nivel de madurez en la digitalización de procesos en las empresas. *Pedoman Umum Panen Dan Pasca Panen Tanaman Obat*.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Red Cluster Colombia. (2013). *Red Cluster Colombia*.  
<http://www.redclustercolombia.com/clusters-en-colombia/iniciativa/112>
- Reis, J., Amorim, M., Melao, N., & Matos, P. (2018). Digital Transformation : A Literature Review and Guidelines for Future Research. *World Conference on Information Systems and Technologies*, 411–421. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0>
- Roedder, N., Dauer, D., Laubis, K., Karaenke, P., & Weinhardt, C. (2016). The digital transformation and smart data analytics: an overview of enabling developments and application areas. *2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2795–2802.
- Rojas Alarcón, M. A. (2018). La Transformación Digital de los mercados, una mirada a través de la



seguridad de la información y la relacion del negocio con tecnología. *Universidad Piloto de Colombia*, 1–5.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>

Ruta Competitiva del Cluster Metalmecánico del Atlántico. (2017). *Análisis de la Industria y Cadena de Valor* (p. 31).

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9–26. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_1)

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(87\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0305-0483(87)90016-8)

Sahu, N., Deng, H., & Mollah, A. (2018). Investigating the critical success factors of digital transformation for improving customer experience. *International Conference on Information Resources Management (CONF-IRM)*. <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:162723>

Sánchez, F., & Hartlieb, P. (2020). Innovation in the Mining Industry: Technological Trends and a Case Study of the Challenges of Disruptive Innovation. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 37(5), 1385–1399. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>

Sanz Garrido, J. A. (2019). *Protocolo para el diagnóstico de la transformación digital en el contexto de la Industria 4.0*.

Savastano, M., Amendola, C., Bellini, F., & D’Ascenzo, F. (2019). Contextual impacts on industrial processes brought by the digital transformation of manufacturing: A systematic

- review. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/su11030891>
- Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. *Production Engineering*, 9(1), 143–148.
- Schroeder, W. (2016). *La estrategia alemana Industria 4.0: el capitalismo renano en la era de la digitalización*. 1–30. [https://www.uni-kassel.de/fb05/fileadmin/datas/fb05/FG\\_Politikwissenschaften/PSBRD/FES\\_Madrid\\_Schroeder\\_Industria\\_4.0\\_ES\\_01.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb05/fileadmin/datas/fb05/FG_Politikwissenschaften/PSBRD/FES_Madrid_Schroeder_Industria_4.0_ES_01.pdf)
- Schuchmann, D., & Seufert, S. (2015). Corporate Learning in Times of Digital Transformation: A Conceptual Framework and Service Portfolio for the Learning Function in Banking Organisations. *International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC)*, 8(1), 31. <https://doi.org/10.3991/ijac.v8i1.4440>
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A. R., & Prote, J. P. (2014). Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 19, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016>
- Schumann, C.-A., Baum, J., Forkel, E., & Otto, F. (2017). Digital Transformation and Industry 4.0 as a Complex and Eclectic Change. *Future Technologies Conference (FTC) 2017, November*, 645–650.
- Schwertner, K. (2017). Digital transformation of business. *Trakia Journal of Science*, 15, 388–393. <https://doi.org/10.15547/tjs.2017.s.01.065>
- Secretaría General de Industria y la Pequeña y Mediana Empresa de España. (n.d.). *Industria Conectada 4.0 - HADA*. Retrieved June 28, 2020, from <https://www.industriaconectada40.gob.es/programas-apoyo/Paginas/HADA.aspx>
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2016). Virtual engineering factory: Creating

experience base for industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 47(1–2), 32–47.

Sjøbakk, B. (2018). The Strategic Landscape of Industry 4.0. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Cham, 122–127.

Sterman, J. D. (2000a). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. In *Interfaces* (Vol. 34, Issue 4). <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601336>

Sterman, J. D. (2000b). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. In *McGraw-Hill Higher Education*. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601336>

Tsai, W. H., & Chou, W. C. (2009). Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert Systems with Applications*, 36, 1444–1458. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.058>

Valdez-de-Leon, O. (2016). A Digital Maturity Model for Telecommunications Service Providers. *Technology Innovation Management Review*, 6(8), 19–32. <https://doi.org/10.22215/timreview1008>

Van Veldhoven, Z., & Vanthienen, J. (2019). Designing a Comprehensive Understanding of Digital Transformation and its Impact. *32ND BLED ECONFERENCE HUMANIZING TECHNOLOGY FOR A SUSTAINABLE SOCIETY CONFERENCE PROCEEDINGS*. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-280-0.39>

Vila Alonso, M., Ferro Soto, C., & Rodríguez Domínguez, M. (2000). Agrupamientos sectoriales territoriales (AST): reflexiones acerca de los recursos compartidos. *Revista de Economía y Empresa*, 61, 87–101.

von Leipzig, T., Gamp, M., Manz, D., Schöttle, K., Ohlhausen, P., Oosthuizen, G., Palm, D., & von Leipzig, K. (2017). Initialising Customer-orientated Digital Transformation in Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 8, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.066>

- Wang, S., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2015.12.017>
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0 : An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.  
<https://doi.org/10.1155/2016/3159805>
- Wiesner, S., Gaiardelli, P., Gritti, N., & Oberti, G. (2018). Maturity models for digitalization in manufacturing-applicability for SMEs. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Cham, 81–88.
- World Economic Forum. (2018). *The Global Risks Report 2018: Vol. 13th editi.*  
<https://doi.org/10.1056/NEJM196802152780701>
- Wu, W.-W. (2008). Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach. *Expert Systems with Applications*, 35, 828–835.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.025>
- Yajure, C. A. (2015). Comparación de los métodos multicriterio AHP y AHP Difuso en la selección de la mejor tecnología para la producción de energía eléctrica a partir del carbón mineral. *Scientia et Technica*, 20(3).
- Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Bocarando Chacón, J. G., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*, 54. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

